This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

35.
8.5.2

Digitized by Google

AP70

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE.

1849.

Digitized by Google

A LEIPZICK,

CHEZ MICHELSEN.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
rue du Jardinet, n° 12.

Digitized by Google

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR

MM. GAY-LUSSAC, ARAGO, CHEVREUL, DUMAS,
PELOUZE, BOUSSINGAULT
ET REGNAULT.

Troisième Série.

TOME VINGT-SIXIÈME.

R. 99406.

PARIS,

VICTOR MASSON, LIBRAIRE,

PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 1.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,

RUE DU JARDINET, N° 12.

1849.

Digitized by Google

Digitized by Google

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

COLEGIO DE SAN PEDRO Y SAN PABLO DE MADRID

DE LA PROPORTION D'EAU ET DE LIGNEUX CONTENUE DANS LE BLÉ ET DANS SES PRINCIPAUX PRODUITS;

PAR M. E. MILLON.

Depuis plusieurs années l'administration de la guerre m'a fait participer aux travaux de Commissions auxquelles étaient soumises les questions les plus importantes du régime manutentionnaire de l'armée. Ce sont des sujets fort difficiles où la chimie n'a pas encore pénétré franchement. Aussi, tandis que des hommes éminents apportaient dans nos conférences le tribut d'une pratique consommée, les données scientifiques faisaient défaut, ou bien n'avaient pas ce caractère d'autorité et de précision qui permet de porter de vives clartés sur les problèmes de l'industrie, et de suivre pas à pas chacune de ses opérations par un contrôle sévère.

Le blé est cependant l'aliment principal et presque unique du soldat, et le pain est le symbole trop réel de la vie du

Digitized by Google

pauvre. L'étude des céréales et de leurs principaux produits touche, on peut le dire, au cœur même de l'hygiène publique.

Si la France est avant tout un pays agricole, si le blé est la première de ses richesses, combien n'importe-t-il pas de connaître par avance et de noter scrupuleusement tout ce qui fait varier et la nature du blé, et son rendement en pain et la valeur alimentaire du pain lui-même?

Le plus simple des faits, le plus facile à observer dans la qualité du blé, sa proportion d'eau plus ou moins grande, donne de suite un exemple de l'importance qu'il faut attacher à ses moindres changements de composition.

Le blé renferme, on le sait, de l'eau que la chaleur élimine facilement: cette eau est étrangère à ses principes alibiles; elle ne change rien à la qualité de ceux-ci, elle diminue seulement leur proportion. Eh bien, soumettons au calcul une différence d'hydratation de 4 et $\frac{1}{2}$ pour 100; supposons qu'une année le blé renferme 18,5 pour 100 d'eau, et que l'année suivante il en renferme 14. En admettant, conformément à la circulaire du 16 novembre 1846, adressée aux préfets par le Ministre de l'Agriculture et du Commerce, que la France consomme 120 millions d'hectolitres de froment, de méteil et de seigle (1), et en comptant l'hectolitre à 15 francs, ce qui est le prix moyen des années d'abondance, la France appliquera à cette seule consommation une richesse annuelle de 1800 millions; que cette richesse varie, comme nous l'avons supposé, de 4,5 pour 100, et la France se trouvera plus riche ou plus pauvre de 81 millions. Si l'on considère que le prix du blé a triplé en 1846-47, on sera forcé de reconnaître que 4,5 pour 100 d'eau de plus ou

(1) M. Haussmann, dans une discussion fort habile (*Annales d'Hygiène publique et de Médecine légale*, janvier 1848, tome IX, page 5) réduit ce chiffre de consommation à 80 millions; nous devons ici construire les calculs sur l'un ou l'autre chiffre, sans aller à la base sur laquelle ils reposent.

Digitized by Google

de moins feraient, en pareille année, une différence de 243 millions.

Les oscillations que j'admets dans l'hydratation du blé n'ont rien d'exagéré. A Lille, le blé récolté en 1847 renfermait 18,5 pour 100 d'eau, et le blé de 1848, dernière récolte, n'en contient que 14 pour 100 : c'est précisément la différence sur laquelle je viens d'appuyer un premier calcul.

Voici une autre conséquence non moins sérieuse tirée des variations de l'hydratation. J'admets que le Gouvernement parvienne, selon ses efforts, à une évaluation annuelle exacte de nos récoltes en céréales, et qu'il découvre qu'en 1848 le sol a produit en France 5 400 000 hectolitres de blé de moins qu'en 1847. On va s'effrayer en calculant qu'un pareil déficit conduit à seize jours de disette pour l'année, ce qui est désastreux. Cependant il n'en sera rien : la proportion d'eau moindre de 4,5 pour 100 en 1848 aura rétabli l'équilibre; la disette n'aura été qu'apparente, et si la panification est égale pour l'une et l'autre année, ce qui doit être, elle comblera le déficit à notre insu.

Je n'insiste pas; d'autres exemples se présenteront d'eux-mêmes dans le courant de ce travail, et il suffira sans doute des considérations précédentes pour justifier le soin minutieux que j'ai apporté à l'étude de l'eau dans le blé, dans les farines, dans le son et dans le pain.

Ces phénomènes d'hydratation ont fourni matière à la première partie de mon travail.

La seconde partie a eu surtout pour objet la détermination exacte du ligneux.

Le ligneux du blé reste, comme l'eau, en dehors des principes alimentaires; il résiste au tube intestinal de l'homme et des animaux supérieurs. Le blutage a été inventé pour en débarrasser la farine, et l'on admet que le ligneux est approximativement représenté par le son.

Le ligneux et l'eau constituent en définitive la somme

Digitized by Google

des matériaux inertes que renferment les céréales. Quand on en a fait le compte, on connaît par différence la proportion vraie des principes assimilables.

Il était impossible, dans cet examen, de ne pas faire intervenir de temps à autre le dosage de l'azote, du gluten, de la graisse, des sels, etc. J'ai fait ces analyses, lorsqu'il l'a fallu, pour développer les vues principales qui naissent de mes recherches; mais je n'ai pu faire de chacun de ces principes, de leurs variations et de leurs influences, l'étude qu'ils méritent et que je serais heureux de provoquer.

DE L'HYDRATATION.

Moyens employés pour déterminer l'eau des céréales et de leurs produits.

Vauquelin desséchait les farines en les chauffant à une douce chaleur pendant deux heures; c'était trop peu de temps et trop peu de chaleur. D'autres chimistes ont employé une température de + 120 degrés, ou bien de + 130 degrés.

Ces changements dans le mode opératoire empêchent absolument les résultats d'être comparables entre eux.

Il faut tout fixer avec précision dans cette détermination de l'eau : le degré de chaleur qu'on applique aussi bien que la durée de celle-ci.

De la farine de blé chauffée à 130 degrés a perdu :

Après cinq heures.....	13,60 p. 100
Après dix heures.....	13,88
Après quinze heures.....	14,16
Après vingt heures.....	14,43

De sorte qu'après vingt heures d'expérience la perte ne semblait pas encore arrêtée; elle était visiblement proportionnelle au temps.

A + 150 degrés la perte ne se fixe pas encore trop vite, mais elle tend à s'arrêter ou du moins se ralentit si forte-

Digitized by Google

ment, qu'après quinze heures à + 150 degrés, neuf heures de plus ou de moins donnent un changement à peine appréciable.

Même farine que précédemment :

Perte à + 150 degrés après six heures.....	15,08 p. 100
Après quinze heures.....	15,41
Après vingt-quatre heures	15,50
Après trente-trois heures .	15,60

Si l'on porte la température à + 180 degrés, on observe une destruction lente de la farine par le concours de l'air et de la chaleur.

Même farine :

Perte à + 180 degrés après cinq heures...	15,40 p. 100
Après dix heures....	19,67
Après quinze heures.	20,80

La comparaison des pertes supportées par la farine à + 150 et à + 180 degrés m'indiquait que la combustion de la farine par l'air ne devait commencer à + 180 degrés qu'après cinq heures environ d'application de cette dernière température; que si la combustion s'opère à + 150 degrés, elle est si faible qu'elle ne détruit pas un millième de la substance en neuf heures de temps. J'en ai conclu que je trouverais entre ces deux limites, 150 et 180, la température à laquelle la farine perdrait son eau aussi rapidement que possible, et cependant ne se réduirait pas appréciablement dans un espace de temps même assez prolongé, par une combustion lente.

L'expérience a confirmé cette vue, et en maintenant la chaleur de 160 à 170 degrés durant cinq ou six heures, j'ai obtenu des chiffres de déshydratation identiques avec ceux qu'on obtient à + 150 degrés en quinze heures, ou bien à 180 degrés en ciuq heures.

De sorte que je conclus qu'*on arrive à la déshydratation la plus complète et la plus rapide de la farine, en la*

Digitized by Google

chauffant de 160 *à* 165 *degrés durant cinq ou six heures.*

J'ai répété les mêmes expériences sur les farines de pois, de féverolles, de maïs, de riz et de sarrasin; elles sont soumises à la même règle. Le blé et le son se trouvent dans le même cas, ainsi que la mie et la croûte de pain.

On obtient toute la précision désirable en opérant sur 4 ou 5 grammes de matière : on les introduit dans un tube de verre à minces parois, et l'on tient celui-ci plongé dans un bain d'huile que l'on chauffe par une lampe d'alcool; on règle ensuite la température suivant les indications d'un thermomètre à mercure (1).

A la suite de cette application de la chaleur, on observe que la farine a jauni : quant au pain, il a pris dans sa masse une teinte rousse très-foncée, qui rappelle l'aspect de la croûte; mais son goût n'a rien d'empyreumatique : loin de là, on y trouve une saveur particulière qui n'est pas désagréable.

Hydratation des farines.

Après avoir déterminé rigoureusement les conditions de l'expérience, j'ai passé en revue un grand nombre de farines. Le fait qui m'a le plus frappé, c'est le peu d'écart qu'on observe entre les farines sous le rapport de la quantité d'eau.

Vingt-huit farines de première qualité, que j'ai prises à la halle de Paris, le 25 septembre 1847, m'ont donné les nombres suivants :

		Eau pour 100.
1	Farine (Destors, de Gonesse).....	16,59
2	» (Boulard frères, de St-Maur, près Paris).	14,68
3	» de Champagne (messager de Troyes, Aube).....	15,59
4	» de Pontoise (Souchard, Truffaut)....	16,59

(1) Les tubes de verre appliqués à cette opération sont très-usités dans les laboratoires. Leur diamètre est de 2 centimètres environ, et leur longueur de 18 à 20 centimètres.

Digitized by Google

			Eau pour 100.
5	Farine	de Vexin (Morand de Morine).....	16,03
6	»	Roland, de Meaux.....	15,37
6 bis.	»	*Idem*.....	15,89
6 ter.	»	*Idem*.....	15,76
7	»	Darbley.....	15,60
7 bis.	»	Darbley, pays de Brie.....	15,18
7 ter.	»	*Idem*.....	15,63
8	»	de Brie (Venois, de Provins).....	14,63
9	»	*Idem* (Laperche, de Provins).....	15,39
10	»	*Idem* (Delarue, de Compan).....	16,15
11	»	de Normandie (Dectramoy, Eure)....	16,27
12	»	*Idem* (Morel, de Vernon).....	16,16
13	»	de Valensart (de Senlis)..... ...	15,50
14	»	de Picardie (Pasquel, de Senlis).....	15,84
15	»	*Idem* (Queste père).....	16,22
16	»	*Idem* (Vallon, de Marolles, près de Villers-Cotterets).....	14,77
17	»	*Idem* (Nicolle, de Routigny).....	16,68
17 bis.	»	*Idem* *Idem*.....	14,99
17 ter.	»	*Idem* *Idem*.....	15,72
18	»	*Idem* de Maintenox (Barre-Pinard).	15,84
19	»	de Beauce (Monnet, de Dreux).....	15,76
20	»	*Idem* (Jouguet, de Chartres).....	15,96
21	»	*Idem* (Massot, de Vinerville, près Chartres).....	15,89
22	»	*Idem* (Péan, de Châteaudun).....	15,88
23	»	d'Orléans (Doussaint-Péan).....	15,40

Dans ces farines de provenances assez diverses, le minimum d'eau est 14,63 pour 100, et le maximum 16,68. Ainsi les termes extrêmes ne diffèrent entre eux que de 2 pour 100. Si l'on retranche les farines n°s 1, 2, 4, 8, 16, 17, 17 *bis*, on trouve que le minimum d'eau des vingt et une farines restantes est de 15,18, et le maximum 16,22; c'est-à-dire que toutes ces farines renferment une quantité d'eau presque pareille, puisqu'elles ne diffèrent que de 1 pour 100.

C'est un fait très-important que cette conformité de l'hy-

Digitized by Google

dratation des farines qui se versent à Paris, en suivant un rayon assez étendu dans les directions les plus opposées, le Vexin, la Beauce, la Brie, la Picardie, la Normandie et la Champagne. Cette conformité permet d'espérer que l'on connaîtra, sans trop multiplier les expériences, le degré d'hydratation des blés récoltés dans la France entière; elle prouve, en outre, que les considérations qui ont été présentées sur l'importance de la détermination de l'eau, dans l'évaluation annuelle de nos richesses en céréales, n'ont rien de factice ni d'exagéré : elles sont parfaitement conformes à la nature même des faits.

Je n'ai pas eu à ma disposition les farines de la récolte de 1848 qu'on a déjà dû verser à Paris, et je n'ai que très-peu de faits à produire sur la comparaison de plusieurs récoltes consécutives. J'ai cependant recueilli plusieurs nombres sur des farines d'origine assez diverse.

		Eau p. 100.
1847	Farine brute de blé tendre (Nord).....	18,2
1848	» *Idem* *Idem*.....	14,0
1848	Autre farine *Idem*.....	14,5
1846	Farine brute de blé dur (Odessa).....	14,2
1847	» *Idem* *Idem*.....	16,4
1846	» brute de blé tendre (Brie et Champagne)..	15,7
1847	» *Idem* *Idem*.....	17,5
1846	» brute de blé tendre exotique.....	14,3
1847	» *Idem*.....	16,4

Ces variations sont petites, et il y a loin de là au minimum de 6 et au maximum de 25 qu'on trouve indiqués dans quelques ouvrages. Le minimum que j'observe est de 14,0, et le maximum de 18,2. Des comparaisons plus étendues me révéleront sans doute des différences plus considérables, mais jusqu'ici je suis disposé à mettre sur le compte de dosages insuffisants la proportion d'eau de 6,8 et même de 10 pour 100. Quant aux quantités d'eau qui atteindraient 20 et 25 pour 100, elles doivent caractériser des années plu-

Digitized by Google

vieuses au moment de la récolte, ou bien des qualités exceptionnelles. Dans les années courantes et dans les circonstances habituelles, elles signalent certainement une addition d'eau coupable.

La connaissance exacte et pour ainsi dire officielle du degré d'hydratation que présentent les farines suivant leur provenance, préviendra des fraudes très-dangereuses et fournira aux expertises une base qui, à cette heure, leur manque totalement.

Hydratation du blé et du son.

On présumerait volontiers que l'hydratation du blé est la même que celle de la farine : il y a cependant une action de la meule qui est quelquefois marquée, et qui tend à affaiblir dans la farine la proportion d'eau du blé.

Des exemples de cette action ont été recueillis principalement au moulin du quai de Billy : tout le système avait été démonté et soigneusement nettoyé sous les yeux de M. Darblay lui-même, et la farine fut prise au milieu de la mouture de 50 hectolitres de blé.

	Eau pour 100.
Blé tendre indigène de 1847 (Brie et Champagne).	18,6
Farine brute retirée du blé.....	17,5
Différence.....	1,1
Blé tendre exotique de 1846.....	16,5
Farine brute retirée du blé.....	15,7
Différence.....	0,8
Autre blé tendre exotique.....	15,06
Farine brute retirée du blé.....	14,02
Différence.....	1,4
Blé dur (Odessa 1846).....	14,0
Farine brute retirée du blé.....	14,0
Différence.....	0,0

Digitized by Google

	Eau pour 100.
Blé dur (Odessa 1847)	16,4
Farine brute retirée du blé	16,0
Différence	0,4
Blé tendre indigène (Nord, 1847)	18,6
Farine brute retirée du blé	18,2
Différence	0,4

Cette perte d'eau est très-variable, puisqu'elle a été nulle dans un blé dur (Odessa, 1846), tandis qu'elle a atteint près de 1,50 à l'égard d'un blé tendre exotique.

Il faut attribuer cette déshydratation du moulin, d'une part à l'échauffement que la meule détermine dans la farine, et, d'autre part, à l'hydratation élevée du blé, mais surtout à l'eau que le blé a pu prendre lorsqu'il a séjourné dans des lieux humides, ou peut-être même lorsqu'il a été mouillé. Le blé qui a été soumis à cette influence de l'humidité ou du mouillage devait contenir son excès d'eau à la périphérie des grains; j'ai constaté qu'il en était ainsi par l'examen du son. Tandis que la farine brute donnait 15,7 pour 100 d'eau, le son retiré de cette même farine en contenait 16,3 : la fleur ne renfermait au contraire que 15,2.

Si, au contraire, le son provient d'une farine très-hydratée, mais dont le blé n'a pas été humecté, l'hydratation est égale dans le son et dans la farine. La meule a agi sur toutes les parties du grain, sur le centre qui produit la fleur de farine, comme sur l'épiderme qui produit le son. J'ai constaté cette disposition dans un blé indigène qui renfermait 18,6 pour 100 d'eau. La farine brute de ce blé a donné 17,6, et le son 17,8.

Le blé dur d'Odessa hydraté à 14 pour 100 a donné la même proportion d'eau dans le blé, dans le son et dans la fleur.

En résumé, un blé s'est-il imprégné d'eau, il perdra à la meule, et la fleur qu'on en retirera sera moins hydratée que le son.

Digitized by Google

Le blé est-il fortement hydraté par l'eau de végétation seule, il perdra encore à la meule, mais le son et la fleur contiendront une proportion d'eau sensiblement égale.

Enfin, dans le cas d'un blé sec et peu hydraté, le chiffre de l'eau sera le même dans le son, dans la fleur et dans le blé.

Le dosage de l'eau donne ici des indications d'une délicatesse extrême, qui échappent à tout autre mode d'investigation.

On comprend combien ces faits sont importants pour le meûnier qui se paye souvent en retenant sur la farine quelques centièmes du poids du blé. Il peut perdre, dans son ignorance des phénomènes de l'hydratation, une partie de son bénéfice légitime. Il peut, au contraire, en mouillant le blé, augmenter illicitement le gain que le propriétaire est disposé à lui accorder.

Une détermination d'eau préviendrait toute erreur et toute manœuvre, au préjudice de l'une et l'autre partie.

Il serait inutile de représenter, au sujet de l'achat du blé, l'importance de contrôler la quantité d'eau : l'intérêt est le même que pour l'achat des farines; mais l'intérêt redouble lorsqu'il s'agit des approvisionnements. La conservation du blé, en effet, est sous la dépendance de son hydratation : un blé sec se conserve des siècles; un blé chargé d'eau est exposé à de nombreuses avaries dans l'année même de sa récolte : ces faits sont notoires. Reste à savoir exactement à quel degré d'hydratation la conservation devient possible.

Les mêmes considérations sont encore applicables à la farine.

A côté de cette question capitale de l'altération du blé se trouve la question des déchets réguliers. C'est là une source de contestations délicates pour les administrations qui ont à surveiller de grands magasins. Tous les blés perdent-ils au grenier? Cette perte est-elle considérable? On n'en possède jusqu'ici aucune évaluation certaine; on pressent de grandes variations dans le déchet, suivant la nature

Digitized by Google

des blés, suivant la période de l'année qu'ils traversent, suivant le lieu où ils sont emmagasinés, suivant l'aération du lieu, suivant un pelletage plus ou moins fréquent et quelques autres influences secondaires; mais si nombreuses que soient ces circonstances, il sera facile maintenant de les suivre l'analyse en main, et deux ou trois années de dispositions combinées et calculées d'avance jetteront une lumière très-satisfaisante sur ce sujet plein d'obscurité.

Hydratation du pain.

Il est facile de déshydrater un fragment de pain, soit de la mie, soit de la croûte. Mais il est impossible de calculer sur la quantité d'eau de ce fragment, qui pèse 5 ou 6 grammes, le degré d'hydratation d'un pain tout entier. C'est cependant cette dernière hydratation qu'il faut connaître. Partout où l'on tend à introduire de l'économie et de la surveillance dans la fabrication du pain, on se pose ce problème : *Combien un poids connu de farine, soit un quintal métrique, peut-il fournir de kilos de pain?* Deux farines inégalement hydratées ne peuvent pas rendre un même poids de pain lorsqu'elles sont soumises au même travail de panification, et deux farines semblables atteindront des rendements inégaux, suivant la quantité d'eau qui aura été incorporée au pain. Dans le régime actuel de la taxe, et de même dans les manutentions militaires, le degré d'hydratation du pain serait le premier point à régler : un boulanger qui donne un poids d'eau à la place d'un poids de pain frappe toujours la bourse du consommateur; il frappe la bourse et la santé lorsque le consommateur est pauvre et qu'il ne mange pas du pain à son appétit. 5 pour 100 d'eau de plus ajoutés chaque jour au pain représentent, à la fin de l'année, une disette de dix-huit jours, et peuvent changer, pour l'ouvrier malheureux, une année d'abondance en une année de privations.

Il n'y a pas à nier ces calculs et leur conclusion. Si l'on

Digitized by Google

affirme que 5, 6, 7 et 8 pour 100 d'eau en plus, qui changent à peine les quantités extérieures du pain, sont aussi inaperçues par nos organes et ne peuvent à la longue y porter aucune atteinte, il faut déclarer du même coup que la disette des récoltes n'existe jamais que dans les esprits, que pour combler un déficit de dix-huit, vingt, vingt-cinq et même trente jours, ce qui dépasse les limites de nos récoltes les plus stériles; il suffira de prescrire aux boulangers de mettre, en ces années de détresse, 5, 6, 7 ou 8 pour 100 d'eau de plus dans leurs produits. Ce n'est pas que cette tolérance dans l'addition d'eau ne puisse venir en aide aux moments de rareté des céréales, à peu près comme la réduction de la ration est un remède à bord des navires à court de provisions; mais pour tirer parti de ces faits d'hydratation dans la crise de nos subsistances, il faudrait que l'hydratation du pain fût soumise à des règlements et devînt l'article essentiel de la police alimentaire.

Ces considérations redoublèrent mon désir d'appliquer à la déshydratation du pain des moyens aussi simples que ceux que j'ai indiqués pour le blé et la farine.

J'ai d'abord constaté qu'il n'y a aucun parti à tirer de l'hydratation d'une portion de la mie et de la croûte; en prenant 5 ou 6 grammes de l'une et de l'autre à différentes régions du pain, on obtient des variations énormes.

Ainsi, en examinant différents pains très-rapprochés les uns des autres par l'hydratation de la masse totale, j'ai constaté pour la croûte de chacun d'eux des nombres qui sont dans une grande divergence.

On peut en juger par le tableau suivant, dont les analyses ont été fournies par un pain blanc de première qualité :

Digitized by Google

		Eau pour 100.		Eau pour 100.
Nos 1	Croûte supérieure.	20,75	le pain tout entier.	34,98
2	»	23,92	»	36,65
3	»	22,71	»	36,54
4	»	21,57	»	38,74
5	»	23,69	»	36,72
6	»	17,31	»	34,51
7	»	14,26	»	34,05
8	»	17,04	»	35,09
9	»	19,65	»	39,52
	Croûte inférieure.	23,31		

L'hydratation de la mie ne s'accorde guère mieux avec celle du pain; ainsi, pour les mêmes pains que ci-dessus, j'ai obtenu :

		Eau pour 100.
Nos 1	Mie du centre.....	46,69
2	»	39,82
3	»	42,49
4	»	46,00
5	»	43,22
6	»	44,55
7	»	45,04
8	»	43,21
9	»	44,09

L'idée d'agir sur un pain entier est très-naturelle; mais la dessiccation d'un pain de deux ou trois livres est une opération embarrassante. Avec des étuves de construction appropriée, on se tire d'affaire; le pain entier, divisé en petits morceaux, se déshydrate aussi complétement qu'un échantillon de farine ou de blé du poids de 5 grammes.

J'ai cherché à éviter ces constructions d'étuve et à réduire le pain mis en expérience à un poids qui permît de faire usage d'un appareil simple et facile à transporter. Lorsque le pain est de forme régulière, comme un pain de munition, on parvient à représenter exactement la masse, en prélevant un morceau de 100 à 150 grammes. On coupe ce mor-

Digitized by Google

ceau en dessinant aussi exactement que possible un segment de cercle à angle très-aigu qui se dirige du centre du pain vers sa circonférence. Je choisis de cette façon deux morceaux à peu près égaux, que j'introduis dans deux flacons de verre mince, aplatis sur une de leurs faces, de manière à s'accoler facilement l'un à l'autre. Les flacons sont introduits et fixés dans un cylindre de cuivre qui a 18 centimètres de diamètre et 20 centimètres de hauteur. Ce cylindre est ensuite rempli d'huile et supporté par un autre cylindre de tôle, haut de 27 à 28 centimètres et large de 24, qui fait office de réchaud. On introduit, en effet, par l'un des côtés du cylindre de tôle, où l'on a ménagé une ouverture convenable, une lampe d'alcool à mèche circulaire, dont le réservoir reste hors du réchaud. Tout ce système arrive facilement à une température de 165 degrés. On fixe la hauteur de la mèche dès qu'on est arrivé à ce degré qu'il ne faut pas dépasser, et, à la suite de trois ou quatre expériences, on peut régler si bien la quantité d'alcool à introduire dans la lampe, qu'il suffit, dans les opérations suivantes, d'amener la température du bain d'huile à 165 degrés. On se dispense alors de toute surveillance, car la lampe, en s'éteignant d'elle-même faute d'alcool, arrête la chaleur au bout du temps voulu. Il serait facile de remplacer la lampe d'alcool par un bec de gaz; mais cet emploi du gaz, qu'il est désirable d'introduire dans nos laboratoires et même dans quelques usages domestiques, n'a pas encore pénétré en France.

Le cylindre de cuivre, faisant office de bain d'huile, portera à son pourtour cinq ou six douilles destinées à recevoir l'une un thermomètre, les autres des tubes de verre contenant des échantillons de farine ou de blé qui se déshydrateront en même temps que le pain (1).

(1) M. Deleuil, fabricant d'instruments, rue du Pont-de-Lodi, à Paris, a exécuté avec soin l'appareil que je décris.

Digitized by Google

Des expériences réitérées m'ont fait acquérir la certitude qu'il est facile de déterminer très-exactement l'eau que renferme le pain de munition. En employant l'appareil précédent, 100 ou 150 grammes de pain se déshydratent tout aussi vite et aussi complétement que 4 ou 5 grammes de blé ou de farine.

Cette déshydratation rapide d'une masse assez considérable est due à la température élevée à laquelle j'effectue l'élimination de l'eau.

Avant d'appliquer ces résultats de la déshydratation au contrôle du rendement d'une farine, je devais me demander si la chaleur, en enlevant de l'eau à la farine et au pain, laissait de part et d'autre la même substance intacte. Les principes de la farine, transformés par la panification, auraient pu perdre à l'état d'eau une partie de leurs éléments, qui seraient au contraire retenus dans la farine elle-même. On a si souvent parlé de production d'alcool dans la fermentation panaire, que je m'attendais encore à un déchet notable dans la matière sèche. Mais il n'en est rien. La portion de farine qui se transforme en acide carbonique est tellement petite, qu'elle ne dépasse pas, à coup sûr, quelques millièmes. J'en ai acquis la preuve dans une série d'expériences exécutées parallèlement à des expériences de manutention. J'ai supposé la matière alimentaire intacte; et déterminant, d'une part, l'eau de la farine, d'autre part, l'eau du pain, je calculai sur ces deux données ce que 100 kilogrammes de la farine employée avaient dû fournir en kilogrammes de pain fabriqué. On établissait le rendement réel à la manutention, et les nombres que me fournissait l'expérience du laboratoire concordaient toujours d'une manière satisfaisante avec les nombres de la boulangerie. Ces rapports ont été constatés dans neuf expériences que je consigne : la farine employée était blutée tantôt à 10, tantôt à 15.

Digitized by Google

	Rendement en pain calculé pour 100 kil. de farine.	Rendement obtenu pour 100 kil. de farine.
	k	k
Nos 1	136,0	135,0
2	137,0	137,0
3	131,5	132,0
4	136,0	134,5
5	133,0	133,0
6	134,5	133,0
7	135,0	134,0
8	137,0	137,5
9	133,0	134,0

L'hydratation a varié dans les pains précédents de 36,5 à 40 pour 100; mais j'ai eu lieu d'examiner du pain militaire de bonne qualité, en apparence du moins, qui contenait 42 et 43 pour 100 d'eau.

Les neuf expériences comprises dans le tableau précédent suffisent-elles pour déclarer qu'on peut désormais connaître, sur un échantillon de farine, ce qu'elle doit fournir de pain, à un degré déterminé d'hydratation? Le principe est rigoureusement vrai, j'en ai la conviction; on en aura l'application et le profit dès qu'on sera bien décidé à le faire intervenir comme contrôle dans les grandes gestions. Il deviendra aussi un jour ou l'autre la base principale de la taxe du pain. Cependant je ne me dissimule pas que les expériences que j'ai produites sont encore trop restreintes, elles devront être suivies sur une série plus étendue; il faut régulariser la cuisson du pain, préciser toutes les conditions du ressuage, insister sur le choix de l'échantillon et sur les moindres détails de l'expérience. Il faut que ces faits d'hydratation, qui sont à cette heure la propriété exclusive du laboratoire, deviennent si simples, si faciles à observer, si constants, si évidents, que les fabricants honnêtes, au lieu de s'en effrayer, soient heureux de les voir convertir en formules administratives et en articles de police.

Je termine ces considérations en construisant deux ta-

Digitized by Google

bleaux qui montrent combien il est injuste, dans l'évaluation du rendement et dans la fixation de la taxe, de ne pas tenir compte de l'eau contenue dans la farine et dans le pain.

Le tableau n° I indique ce que 100 kilogrammes de farine rendent en kilogrammes de pain, suivant que la farine contient 14, 15, 16, 17, 18 et 19 pour 100 d'eau, et suivant que le pain fabriqué en renferme 36, 37, 38, 39, 40, 41 et 42 pour 100.

Tableau n° I. — 100 *kilogrammes de farine rendent en pain :*

FARINE.	PAIN à 36 p. 100 d'eau.	PAIN à 37 p. 100 d'eau.	PAIN à 38 p 100 d'eau.	PAIN à 39 p. 100 d'eau.	PAIN à 40 p. 100 d'eau.	PAIN à 41 p. 100 d'eau.	PAIN à 42 p. 100 d'eau.
	k	k	k	k	k	k	k
A 14 p. 100 d'eau.	134,3	136,5	138,7	140,9	143,3	145,7	148,2
A 15 p. 100 d'eau.	132,8	134,9	137,0	139,3	141,6	144,0	146,5
A 16 p. 100 d'eau.	131,2	133,3	135,4	137,7	140,0	142,4	145,0
A 17 p. 100 d'eau	129,6	131,7	133,7	136,1	138,3	140,7	143,4
A 18 p. 100 d'eau.	128,1	130,1	132,1	134,5	136,7	139,1	141,8
A 19 p. 100 d'eau.	126,5	128,5	130,5	132,9	134,0	137,5	140,0

On voit, d'après ce tableau, que 100 kilogrammes de farine rendront depuis 126^{kil},5 de pain jusqu'à 148^{kil},2. Il suffira que la proportion d'eau varie de 6 pour 100 dans la farine et de 7 pour 100 dans le pain ; ce sont des variations très-admissibles.

Le tableau n° II offre le même calcul appliqué au rendement de 99 kilogrammes de farine en rations de 750 grammes.

Digitized by Google

Tableau n° II. — 99 *kilogrammes de farine rendent en rations de 750 grammes :*

FARINE.	PAIN à 37 p. 100 d'eau.	PAIN à 38 p. 100 d'eau.	PAIN à 39 p. 100 d'eau.	PAIN à 40 p. 100 d'eau.	PAIN à 41 p. 100 d'eau.	PAIN à 42 p. 100 d'eau.
	k	k	k	k	k	k
A 14 p. 100 d'eau.	180,2	183,1	186,1	189,2	192,4	195,7
A 15 p. 100 d'eau.	178,1	180,9	183,9	187,0	190,1	193,4
A 16 p. 100 d'eau.	176,0	178,8	181,7	184,7	187,9	191,1
A 17 p. 100 d'eau.	173,9	176,7	179,6	182,5	185,7	188,9
A 18 p. 100 d'eau.	171,8	174,5	177,4	180,3	183,4	186,6
A 19 p. 100 d'eau.	169,7	172,4	175,2	178,2	181,2	184,3

Ainsi, dans les manutentions militaires, le rendement de 99 kilogrammes de farine peut osciller entre 169,7 rations et 195,7. Ces deux chiffres extrêmes dispensent de toute réflexion.

Du ligneux contenu dans le blé.

L'enveloppe corticale des grains de blé est formée par du ligneux auquel adhèrent si fortement les autres principes assimilables, qu'aucun moyen mécanique ne saurait les en isoler. Le son qu'on rejette dans cette intention entraîne toujours avec lui de la matière amylacée qui blanchit une des faces de la pellicule et qu'on détache par de simples lavages à l'eau froide.

Comme le ligneux ne se digère pas, on fait le sacrifice de la substance nutritive qui lui est adhérente, afin d'alléger l'intestin d'une matière inerte. On prélève ainsi une quantité de son, qui est de 15 à 20 et même 25 pour 100 du poids de la farine brute.

Cette élimination du son, désignée sous le nom de blutage, cause une perte considérable dans les richesses de nos céréales; le son est en effet, comparativement au blé, d'une valeur minime. Il est devenu impropre à la nourriture de

Digitized by Google

l'homme et ne peut plus servir qu'à celle des bestiaux. Il s'ensuit que plus une farine est blutée, plus son prix s'élève : le prix du pain s'accroît d'autant. On conçoit donc que partout où l'on vise à fabriquer le pain économiquement, on s'efforce de réduire le taux du blutage ; c'est ainsi que, dans les manutentions militaires, la farine de blé tendre est blutée à 15 pour 100, et celle de blé dur à 5 pour 100. Dans plusieurs localités le pain de qualité inférieure se taxe également sur un blutage dont le taux est plus ou moins fort.

Cette pratique est bonne si le son doit vraiment être rejeté, mais encore demanderait-elle une surveillance active. Il faudrait que le blutage se fît loyalement au taux voulu ; mais comment s'en assurer? Comment découvrir dans le pain fabriqué la quantité de son extraite de la farine brute? Les blés d'ailleurs renferment des proportions de son si différentes, qu'ici un blutage de 10 pour 100 laisse autant de son dans la farine que là un blutage de 5 pour 100.

C'est en cherchant à résoudre ces difficultés (1) que j'ai constaté un fait qui change entièrement la face du problème.

J'ai reconnu qu'on s'exagérait beaucoup la proportion de ligneux que renferme le blé. L'idée générale qui semble avoir jusqu'à ce jour dirigé les opérations du blutage attribue au blé une quantité de cellulose si forte, qu'il faut à tout prix l'éloigner pour rehausser la qualité du pain ; mais

(1) Lorsqu'on possède en même temps un échantillon de la farine brute et un échantillon de la farine blutée qui en provient, il est facile de s'assurer qu'on a retiré 5, 10 ou 15 pour 100 de son; on fait passer pour cela l'une et l'autre farine par un blutoir de petite dimension, et l'on pèse le son que l'on retire de chaque côté. La différence des poids exprime très-exactement le degré du blutage; j'en ai fait l'expérience sur un petit blutoir long de 64 centimètres, il fournissait exactement les mêmes résultats qu'un blutoir long de $1^{m},45$. Mais si le son avait été remoulu et remis dans la farine, la fraude échapperait encore à ce moyen mécanique: il faut alors recourir aux méthodes chimiques que je fais connaître plus loin.

Digitized by Google

quand on recherche les faits positifs sur lesquels cette croyance repose, on n'en trouve réellement pas d'une autorité suffisante.

L'excellent ouvrage de M. Boussingault est le seul où j'ai vu un dosage authentique du ligneux ; il l'évalue à 7,5 pour 100 du poids du blé. Il est vrai que j'ai trouvé sur ce point des témoignages très-contradictoires ; mais celui de M. Boussingault que je cite a seul un caractère d'autorité.

J'ai pu omettre par ignorance quelques sources, mais je crois que les chimistes affirmeront avec moi que cette donnée importante n'a pas encore pris rang parmi les faits classiques (1). Au reste il est de toute évidence que, si cette donnée existe quelque part, elle n'a réagi en aucune manière sur nos usages domestiques, qui sont réglés en vue d'une proportion forte de ligneux et de matière inerte dans la farine brute. Une seule analyse, celle de M. Boussingault, ne pouvait pas suffire ; et la preuve, c'est qu'en analysant les blés de la nature la plus diverse, j'ai obtenu des résultats qui s'éloignent beaucoup de 7,5 pour 100. La proportion la plus forte de ligneux que j'ai trouvée dans les farines de blé tendre indigène ne dépasse pas 2,38 pour 100, et le blé dur ne m'a donné que 1,25.

Je consigne de suite les nombre de l'expérience :

	Poids de la farine brute.	Poids du ligneux.	Pour 100.
	gr		
Blé dur (Odessa, 1847).....	10,0	0,125	1,25
1°. Blé tendre exotique (1847)...	10,0	0,155	1,55
2°. Blé tendre exotique (1847). .	10,0	0,158	1,58
Blé tendre indigène, 1847 (Nord).	25,0	0,643	2,38
1°. Blé tendre indig., 1848 (Nord).	20,0	0,449	2,24
2°. Blé tendre indig., 1848 (Nord).	20,0	0,459	2,28
Autre blé tendre indig., 1848 (N.).	25,0	0,379	1,51

(1) Je ne crois pas devoir discuter, si récentes qu'elles soient, des assertions (*Annales d'Hygiène publique*, tome III, page 59), où l'on trouve que le son contient 0,0 de gluten et 63,25 pour 100 de son absolu. Ce sont des mots vides de sens unis à de monstrueuses erreurs.

Digitized by Google

Le procédé que j'ai mis en usage est de la plus grande simplicité : il consiste à traiter successivement la farine par une eau acidulée et par une eau alcaline.

Je pèse 20 à 25 grammes de farine brute, que j'introduis dans un ballon de verre d'une capacité de 1 $\frac{1}{2}$ litre à 2 litres, puis j'introduis 140 à 150 centimètres cubes d'une eau acidule, qui renferme :

Eau distillée.....	20
Acide chlorhydrique fumant.	1

Je porte l'eau acidule à l'ébullition durant 15 à 20 minutes, j'ajoute un demi-litre d'eau distillée, et, au bout de quelques instants, je décante celle-ci sur un filtre destiné à recueillir le ligneux; après quatre ou cinq additions d'eau, on jette le ligneux lui-même sur le filtre; on le rassemble avec une pissette au fond du filtre, on le lave jusqu'à ce que l'eau de lavage soit sans action sur le papier de tournesol; on laisse égoutter le filtre durant une heure ou deux, et tandis qu'il est encore humide on détache le ligneux avec soin; on l'introduit une seconde fois dans le ballon déjà employé, et l'on verse sur lui une lessive qui contient :

Eau distillée.....	10
Potasse caustique.....	1

On répète l'ébullition en présence de la liqueur alcaline durant 15 à 20 minutes, et l'on procède au lavage comme pour l'eau acidulée. On termine ce lavage par l'emploi d'une eau faiblement acidulée, qui doit être enlevée elle-même jusqu'à ce que toute action disparaisse au papier de tournesol. Le ligneux détaché une seconde fois du filtre est desséché au bain-marie, puis au bain d'huile à + 120 degrés, où il est maintenu durant trois heures.

Après ces deux traitements, le ligneux est d'un blanc grisâtre, si les lavages ont été suffisamment prolongés. Dans le cas contraire, il serait gris ou même brun, et son dosage, très-inexact, donnerait un chiffre beaucoup trop élevé.

Digitized by Google

C'est un inconvénient que je n'ai évité qu'après une certaine étude du procédé. La farine brute produit un ligneux d'une blancheur éblouissante, en jetant celui-ci dans un flacon de chlore, tant après l'action de la lessive acide qu'après celle de la lessive alcaline ; on a soin d'éloigner préalablement cette dernière par des lavages.

Cette action du chlore détruit certainement jusqu'à la dernière trace de matière incrustante, mais je ne suis pas sûr qu'elle n'endommage pas le ligneux lui-même.

Voici quelques nombres qui permettront de suivre cette action du chlore sur le son, que j'ai préféré à la farine parce qu'il rend les différences plus marquées :

Son d'un blé tendre de première qualité, 1848; dosage du ligneux par les lessives acidules et alcalines, sans chlore :

Poids du son.	Poids du ligneux.
10gr,0	0gr,872

Même son; même traitement que ci-dessus, et, de plus, action d'un flacon de chlore d'un litre, à froid :

Poids du son.	Poids du ligneux.
10gr,0	0gr,817

Même son; traitement par les lessives acidules et alcalines; action d'un flacon de chlore maintenu à + 100 degrés :

Poids du son.	Poids du ligneux.
10gr,0	0gr,720

Même son; traitement par les lessives acidules et alcalines ; double traitement par le chlore :

Poids du son.	Poids du ligneux.
10gr,0	0gr,704

Je ferai remarquer encore que ce n'est pas sans de nombreux tâtonnements que je me suis arrêté au procédé qui vient d'être décrit pour le dosage du ligneux.

Ainsi, il est impossible d'employer un acide plus concentré que celui que j'indique, sans s'exposer à convertir le ligneux

Digitized by Google

et le sucre en produits humiques qui gâtent toute l'opération; l'acide plus dilué agit moins vite et donne une liqueur moins facile à filtrer.

Quant au degré de la lessive alcaline, il a une grande influence sur le poids du ligneux obtenu; cependant ces variations ne changent rien à l'idée générale qui résulte des expériences précédentes. On reconnaît que, dans tous les cas, la proportion du ligneux est très-faible. Ainsi le même son a supporté les traitements suivants :

Premier traitement.

Acide chlorhydrique composé de :

Eau.....	40
Acide fumant.....	1

Lessive alcaline composée de :

Eau.....	40
Potasse.....	1

Son. . . 10 grammes; ligneux obtenu, 1°. 0,968
2°. 0,955

Deuxième traitement.

Acide chlorhydrique composé de :

Eau.....	20
Acide fumant.....	1

Lessive alcaline composée de :

Eau.....	20
Potasse.....	1

Son.... 10 grammes; ligneux obtenu.. 0,806

Troisième traitement.

Acide chlorhydrique composée de :

Eau.....	20
Acide fumant.....	1

Lessive alcaline composée de :

Eau.....	10
Potasse.....	1

Son.... 10 grammes; ligneux obtenu... 0,753

Digitized by Google

Quatrième traitement.

Acide chlorhydrique composé de :

Eau..... 20
Acide fumant..... 1

Lessive alcaline composée de :

Eau..... 5
Potasse..... 1

Son.... 10 grammes; ligneux obtenu.... 0,673

J'ai employé toujours 140 centimètres cubes de la liqueur acide et de la liqueur alcaline : l'ébullition a duré le même temps.

Quelle que soit la discussion qu'on élève sur le mode de dosage qui a été appliqué au ligneux, la proportion de celui-ci reste très-faible.

On doit tirer comme première conséquence de cette minime proportion du ligneux, que ce n'est pas elle qui autorise le prélèvement de 15, 20 et 25 pour 100 sur la masse alimentaire du blé. On ne peut pas, pour quelques millièmes de matière inerte, sacrifier un poids aussi considérable de la substance qui représente le premier aliment de l'homme.

Il fallait rechercher dans les autres principes entraînés par le blutage la cause d'une élimination aussi onéreuse. Je me suis donc demandé avec curiosité quelle était la composition du son.

Le ligneux a été dosé avant tout; sa proportion a été petite, comme le faisait pressentir la composition de la farine elle-même. Le procédé d'analyse a été le même que pour la farine; il suffit, dans ce dosage, d'employer 10 grammes de son.

Son provenant du mélange de trois espèces de blé (blé tendre indigène, blé tendre exotique et blé dur) :

Son employé.	Ligneux.
	gr
1°. 10 grammes.....	1,0
2°. 10 grammes.....	1,195
3°. 10 grammes.....	1,100

Digitized by Google

Son provenant d'un blé tendre indigène, bluté à 18 pour 100 :

Son employé.	Ligneux.
	gr
1°. 10 grammes	0,968
2°. 10 grammes.....	0,987

Son provenant d'un autre blé tendre indigène bluté à 19 pour 100 :

Son employé.	Ligneux.
	gr
10 grammes.....	0,872

Autre son provenant d'un blé tendre indigène bluté à 17 pour 100 :

Son employé.	Ligneux.
	gr
10 grammes.....	0,753

Ainsi le son contenait de 7,5 à 10 pour 100 de ligneux.

Je passai ensuite au dosage de l'azote, en employant le son indiqué ci-dessus et provenant d'un blé tendre indigène bluté à 18 pour 100.

Son.

Première analyse. — Substance employée. $2^{gr},015$ (*)
Gaz obtenu..... 41^{cc}

$T = +14°$; $P = 0^{m},757$.

Vol. réd., $38^{cc},24$; en poids, $0^{gr},04881$.
Azote pour 100, 2,42.

Ce qui représente 15,1 pour 100 de gluten ou de matière *albumineuse*.

Seconde analyse. — Substance employée.. $1^{gr},127$
Gaz obtenu..... $28^{cc},5$

$T = +14°$; $P = 0^{m},759$.

Vol. réd., $26^{cc},04$; en poids, $0^{gr},03359$.
Azote pour 100, 2,35; en gluten, 14,68.

(1) Je ferai connaître bientôt la méthode analytique qui me permet d'introduire dans un tube de combustion 2 et 3 grammes de matière sèche et jusqu'à 10 et 15 grammes de matière liquide.

Digitized by Google

Il était intéressant de mettre en regard de cette proportion d'azote du son, celle qui existait dans la farine brute et dans la fleur de farine de même blé :

Farine brute.

Première analyse. — Substance employée. $1^{gr},773$
Gaz obtenu..... 30^{cc}

$T = +16^{o}$; $P = 0^{m},769$.

Vol. réd., $28^{cc},169$; en poids, $0^{gr},0355,8$.
Azote pour 100, 2,00 ; en gluten, 12,48.

Seconde analyse. — Substance employée. $2^{gr},001$
Gaz obtenu..... 34^{cc}

$T = +15^{o}$; $P = 0^{m},767$.

Vol. réd., $31^{cc},78$; en poids, $0^{gr},04007$.
Azote pour 100, 2,00; en gluten, 12,48.

Fleur de farine.

Substance employée..... $1^{gr},732$
Gaz obtenu..... 28^{cc}

$T = +13^{o}$; $P = 0^{m},761$.

Vol. réd., $26^{cc},37$; en poids, 9,0332549 (*).
Azote pour 100, 1,02; en gluten, 12 pour 100.

La fleur de farine a une composition trop rapprochée de celle de la fleur brute, 2,00 pour 100 d'azote et 1,92, pour que l'analyse permette d'établir une distinction.

Mais entre le son et la farine brute, la différence est palpable.

Le son renferme, en moyenne, 2,38 pour 100 d'azote, et la farine 2,00 ; en évaluant cet azote comme matière albuminoïde, on obtient, pour la farine brute, 12,48, et pour le son, 14,9.

---

(1) Le dosage direct du gluten contenu dans la fleur de farine m'a donné 10,7 pour 100; reste 1,3 pour 100 d'albumine dont il était facile de reconnaître la présence, bien que la quantité en fût très-petite, dans les eaux de lavage.

Digitized by Google

Ainsi le son est incontestablement plus azoté que la farine brute.

Déjà, dans l'analyse de M. Boussingault que j'ai citée, on trouve que le son renferme 20 pour 100 de gluten; la farine brute, 13,4, et le blé, 14,3. J'ai été heureux de voir ici mes résultats conformes aux siens.

Cependant j'ai cru qu'il ne suffisait pas de trouver une plus grande proportion d'azote dans le son pour conclure qu'il renfermait plus de matière albuminoïde. Cet azote pouvait s'y trouver sous une autre forme non assimilable.

J'ai versé sur 20 grammes de son 130 grammes d'acide acétique dilué, d'une densité de 1,0267 à + 15 degrés. Le mélange, introduit dans un flacon bouché, a été agité fréquemment durant vingt-quatre heures; au bout de ce temps, le liquide a été exprimé, filtré, et j'en ai pris de nouveau la densité. 20 grammes de la farine brute, qui avait produit le son précédent, ont été traités exactement de la même façon. L'acide devait, en dissolvant le gluten de part et d'autre, acquérir une densité sensiblement proportionnelle à la quantité qu'il en aurait dissoute.

Il se trouva que l'acide acétique mis au contact du son avait acquis une densité de 1,0394; celui qui avait eu le contact de la farine brute ne pesait que 1,0352.

Cette expérience confirmait la présence d'une plus grande quantité de gluten dans le son; et j'ajouterai que le gluten a pu être extrait en nature par la saturation de l'acide acétique qui avait digéré sur le son.

L'alcool à 34 B donne aussi une quantité considérable d'extrait en agissant à chaud sur le son : j'en ai obtenu jusqu'à 7,50 pour 100, tandis que la fleur de farine, traitée de même, n'a donné que 2,9 pour 100. L'extrait du son est sensiblement azoté, et contient plus du quart de son poids de glutine.

Le dosage de la matière grasse a fourni encore une comparaison à l'avantage du son : 30 grammes de farine brute,

Digitized by Google

épuisés par l'éther dans un appareil à déplacement, ont fourni un résidu de $0^{gr},518$, soit 1,73 pour 100; le même poids de son a laissé 1,092, soit 3,64 pour 100. Le son contient donc ici deux fois plus de matière grasse que la farine brute.

Pour compléter l'examen analytique du son, j'ai déterminé en bloc les principes hydrocarbonés autres que le ligneux, à savoir : l'amidon, la dextrine et le glucose.

Il est facile d'extraire du son des grains de fécule parfaitement définis, de la gomme ne fournissant pas d'acide mucique, et aussi un sucre d'une saveur très-franche; mais il serait fort difficile de doser rigoureusement ces trois principes. L'amidon, par exemple, est tellement incrusté dans l'épiderme du blé, que non-seulement on ne l'enlève pas par des lavages à l'eau froide sur un tamis très-fin, mais que l'eau bouillante elle-même y laisse encore de petits agrégats amylacés qu'on retrouve par l'iode sur le champ du microscope; il y a des difficultés d'un autre ordre pour la dextrine et le sucre. J'ai donc dosé ces principes tous trois ensemble et approximativement, en employant le procédé de M. Barreswil. Le son a été pesé, mis en ébullition avec de l'acide hydrochlorique affaibli : la liqueur acide a été saturée par un excès de potasse caustique, puis mesurée, filtrée, et versée peu à peu dans la solution potassique de tartrate de cuivre. J'ai constaté ainsi que le son, dont je suivais l'analyse, contenait environ 50 pour 100 d'amidon, de dextrine et de sucre.

J'aurais voulu déterminer la nature du sucre; mais cette recherche offre des obstacles. Le son ne contient pas plus de 2 pour 100 de sucre, et l'extrait alcoolique le donne mélangé de glutine, de matières grasses et d'une quantité sensible et très-reconnaissable de sucre de réglisse. Après en avoir purifié quelques grammes, j'ai reconnu qu'il n'agissait pas sur la solution potassique de tartrate de cuivre; il la réduit très-bien, au contraire, si on la fait bouillir

Digitized by Google

un instant en présence d'un acide. Ce sucre dévie, en outre, la lumière polarisée à droite, et, après l'action des acides, la dévie à gauche.

Par conséquent, le sucre de son a les caractères optiques et chimiques du sucre de canne, mais il ne m'a pas été possible de le faire cristalliser.

La proportion des sels diffère énormément de celle qui s'observe dans les farines; deux expériences m'ont fourni les résultats suivants :

	gr			Pour 100.
1°. Son.....	3,477	Cendres....	0,202	5,80
2°. Son (*)..	4,954	Cendres....	0,284	5,63

De sorte qu'en résumant les nombres fournis par l'expérience, je trouve que la composition du son provenant du blé tendre indigène récolté en 1848 (Nord) peut se représenter ainsi :

Amidon, dextrine, sucre..	50,0	approximatifs.
Sucre de réglisse.....	1,0	
Gluten.....	14,9	
Matière grasse	3,6	
Ligneux.....	9,7	
Sels	5,7	
Eau	13,9	
	98,8	

1,2 pour 100 qui manquent dans le dosage doivent appartenir tant à des matières incrustantes, résineuses, plus ou moins colorées, qu'à certains principes aromatiques dont j'ai reconnu l'existence à diverses reprises. Ainsi la matière grasse exhale une odeur qui rappelle l'atmosphère des moulins à farine en pleine activité. Lorsqu'on sature l'acide acétique dilué, dans lequel on fait digérer du son, la liqueur

(1) Le son contient ici cinq à six fois autant de sels que la fleur dans laquelle j'ai trouvé 1,02 de cendres; la farine brute en renfermait 1,76 pour 100.

Digitized by Google

répand le parfum du miel. La fleur de farine ne produit rien d'analogue. Taddey attribuait cette odeur de miel à la glia-dine ; mais ce doit être un principe distinct du gluten et de ses congénères, puisqu'il est propre au son.

Je n'insisterai pas davantage sur ces faits d'analyse ; leur conclusion est simple, elle est forcée : *le son est une substance essentiellement alimentaire.*

Si l'on annonçait tout à coup qu'on est parvenu à enrichir la France de plusieurs millions d'hectolitres d'une substance très-alimentaire, sans aucun frais de culture et sans ôter à d'autres productions un seul pouce du sol ; si l'on déclarait que cette substance contient plus de gluten que le blé, qu'elle est deux fois plus abondante que lui en matière grasse, et qu'à part 10 pour 100 de ligneux, le reste de ses principes est très-assimilable, on croirait assister à quelque rêverie. Cette substance existe cependant ; elle réside dans le blé, d'où on l'expulse à grands frais. On appauvrit le blé dans son azote, dans sa graisse, dans sa fécule, dans ses sels, dans ses principes aromatiques et sapides, pour se débarrasser de quelques millièmes de ligneux.

D'ailleurs est-il conforme aux principes de l'hygiène et de la physiologie d'éloigner de l'estomac de l'homme tout ce qui peut y laisser un résidu ? Le bol alimentaire ne doit-il pas cheminer dans toute la longueur du tube intestinal, et porter jusqu'à son extrémité une partie réfractaire ? Si notre régime s'améliore indéfiniment à mesure que nous absorbons d'une manière plus complète les matières ingérées, supprimons le règne végétal, ou bien mettons-nous à vivre de l'extrait des plantes. Il n'y a probablement pas de légume qui contienne aussi peu de ligneux que le blé.

Quant à la blancheur que l'on communique au pain en éloignant le son, c'est une qualité purement idéale, dans laquelle on poursuit, par préjugé, l'essence alimentaire du blé. C'est, dans le fait, une élimination très-avancée de son condiment naturel.

Digitized by Google

Si l'on trouve ces conclusions bien arrêtées, si l'on en appelle à la physiologie, je dirai que celle-ci a déjà fait connaître ses résultats : « Un chien mangeant à discrétion du » pain blanc de froment pur, et buvant à volonté de l'eau » commune, ne vit pas au delà de cinquante jours. Un » chien mangeant exclusivement du pain bis militaire ou » de munition vit très-bien, et sa santé ne s'altère en aucune » façon. » (*Précis élémentaire de Physiologie*, tome II, page 504, par Magendie, 4e édition, 1836.)

En résumé, remoudre finement le son et les gruaux, et les mélanger à la fleur, ou bien perfectionner nos moyens de mouture dans une direction précisément opposée à celle qu'on a suivie jusqu'ici, de façon qu'ils donnent du premier coup une farine fine et homogène, tel est le progrès désormais facile à réaliser. On y trouvera immédiatement une conciliation bien précieuse, celle de l'hygiène et de l'économie.

Appendice.

Après avoir terminé la partie chimique de ce travail, en ce qui concerne le son, je me suis assuré qu'il ne conduisait pas simplement à des vues spéculatives. En voici la preuve : Du blé a été moulu sous mes yeux; les sons, mis à part, ont été remoulus finement, ajoutés à la farine, et le pain, fabriqué ainsi avec le blé tout entier, était d'une qualité très-remarquable. Il ne présentait pas les inconvénients du pain fabriqué dans quelques localités, en Belgique par exemple, avec de la farine brute non remoulue. Cette expérience, répétée plusieurs fois, a toujours fourni un produit dont les connaisseurs ont apprécié la supériorité sur le pain fait avec de la farine blutée à 8, 10 et même 15 pour 100.

J'ai recherché également si l'on pouvait espérer de réduire le son à la partie ligneuse du grain, en le reportant plusieurs fois à la meule et en le passant ensuite au blutoir. Du son passé ainsi quatre fois à la meule et au blutoir con-

Digitized by Google

tenait seulement 2 pour 100 de plus en ligneux, 11 pour 100 au lieu de 9; mais la quantité de gluten s'était élevée en proportion, et le son, qui renfermait après la première mouture 13 pour 100 de gluten, en renfermait jusqu'à 16 pour 100 après le quatrième blutage. Il me paraît à peu près impossible d'atteindre jamais, par des moyens mécaniques, à une séparation complète du ligneux et des parties alimentaires de la farine.

ACOUSTIQUE. — TRAVAUX DE SCHEIBLER. — THÉORIE DES BATTEMENTS.

Application à l'accord de l'orgue et des autres instruments.

PAR M. A.-J.-H. VINCENT.

§ I. — *Introduction.*

Ayant eu l'occasion d'étudier dans ces derniers temps les gammes antiques de la Grèce, très-différentes des nôtres en ce point, que les intervalles dont elles se composent y peuvent prendre une foule de valeurs différentes, j'ai dû m'occuper de la recherche des procédés propres à les reproduire avec justesse, ce qui est ici d'autant plus difficile que, d'une part, notre oreille n'y est point habituée, qu'elle y répugne même au premier abord, et, en outre, que la plupart de ces intervalles étant non-seulement dissonants, mais même discordants, il devient impossible de les soumettre aux procédés vulgaires de l'art de l'accordeur (1).

Aussi ma curiosité fut-elle vivement excitée lorsque j'appris que l'on possédait en Allemagne, que même on pratiquait à Paris, mais, pour ainsi dire, encore à l'état occulte, la solution de ce paradoxal problème :

(1) Mon intention n'est cependant pas de traiter le point spécial relatif à la musique ancienne, dans ce premier Mémoire où je n'ai voulu examiner que la théorie générale de Scheibler, et son application à la gamme diatonique moderne.

Digitized by Google

Rendre l'accord des instruments indépendant de la justesse de l'oreille musicale et le faire, en quelque sorte, *dépendre du sens de la vue* (1).

Je me mis en conséquence, sans plus tarder, à la recherche de cet important résultat, et je fus assez heureux pour m'en assurer bientôt la possession, avantage que je dois, du reste, à une circonstance favorable que j'expliquerai dans un instant. Quoi qu'il en soit, à la pratique il manquait une théorie que, pour ma satisfaction, je me mis en devoir de lui adjoindre; et c'est le résultat de ce travail que je présente aujourd'hui. J'ai pensé qu'on l'accueillerait avec quelque bienveillance, et cela pour deux raisons : la première, que la méthode dont il s'agit est fondée sur une curieuse branche de l'acoustique, dont il ne paraît pas que, jusqu'à ce jour, on ait tenté d'autre application; la seconde, que c'est une production originaire de l'Allemagne.

Je dirai donc, pour entrer en matière, qu'il y a une quinzaine d'années environ, un manufacturier en soieries de Crevelt en Prusse, nommé Scheibler, vint à Paris dans l'intention d'y faire connaître des expériences qu'il poursuivait depuis vingt-cinq ans avec une patience infatigable. Ces expériences avaient pour but d'arriver à déterminer, avec une précision jusqu'alors inconnue, suivant les expressions de l'auteur, le nombre absolu des vibrations correspondant à un son musical donné, et, par suite, à en déduire un moyen pratique, entièrement neuf, et aussi exact que facile, d'accorder les instruments de musique.

A cet effet, étant entré en communication avec divers

---

(1) Pour être juste, il est nécessaire de rappeler que l'on trouve dans l'*Harmonie universelle* du P. Mersenne (liv. VI, *des Orgues*, p. 367), cette phrase remarquable : « Si l'on peut reconnaître ces battements (que font » entre eux les sons discordants) sans l'oreille, elle ne sera pas nécessaire » pour accorder l'orgue. » Mais cela signifie-t-il que, pour bien accorder, il faut supprimer les battements, ou qu'il faut savoir les compter? C'est ce qu'il paraît assez difficile de décider.

Digitized by Google

savants, notamment avec Savart, il remit à cet illustre professeur un Mémoire qu'il désirait voir soumettre à l'Institut. Ces savants applaudirent au zèle de l'amateur allemand et entrevirent quelque chose de bon et d'utile dans ses idées; mais il ne paraît pas qu'ils y aient donné aucune suite. Savart trouva tout d'abord le travail qui lui était présenté, obscur et pour ainsi dire inintelligible; et il faut avouer que le reproche n'était pas tout à fait dépourvu de fondement. Depuis lors, notre savant physicien fit-il des efforts pour surmonter cette première et fâcheuse impression? ou bien ses travaux personnels ne lui laissèrent-ils pas le loisir de faire les recherches nécessaires pour éclaircir les difficultés qui se présentaient? c'est ce qu'il est impossible de dire. Quoi qu'il en soit, voici la seule trace que je trouve dans le domaine public, je veux dire en France, des travaux de Scheibler : c'est une mention insérée au *Bulletin de l'Académie des Sciences,* à la date du lundi 28 septembre 1835, article Correspondance, et formulée en ces simples termes : « M. Scheibler réclame les Rapports » qu'on lui avait fait espérer sur divers Mémoires d'acous- » tique qu'il a soumis au jugement de l'Académie. »

Cependant, j'ai eu entre les mains, par suite des circonstances que j'ai déjà indiquées et que je préciserai tout à l'heure :

1°. *Mittheilung über das Wesentliche des* (*bei Baedeker in Essen erschienenen*) *musikalischen und physikalischen Tonmessers,* von *Henrich Scheibler;* Creveld, 1836. In-8° de 14 pages.

Communication sur ce qu'il y a d'essentiel dans le tonomètre musical et physique (mis au jour à Essen, chez Baedeker), par *H. Scheibler*, manufacturier en soieries à Crevelt; in-12 de 14 pages.

2°. Un manuscrit en français, de 30 pages, de la main de Scheibler, intitulé : *Résumé du livre :* le Tonomètre physical et musical, *ou la manière de mesurer et de reproduire* (*visiblement à l'œil*) *les vibrations absolues des tons*

Digitized by Google

simples et de combinaison par les battements et le pendule, ainsi qu'une méthode facile de tempérer l'orgue sur les mêmes principes ; par Scheibler.

3°. Une feuille lithographiée, représentant les battements par une figure, avec une explication de douze lignes, en allemand, intitulée : *Stöss*, *Schwebung* (*Battement*).

4°. Un grand *Tableau*, en allemand, présentant les opérations à exécuter pour l'accord de l'orgue, d'après les calculs de l'auteur.

Je me suis procuré postérieurement :

5°. L'ouvrage auquel le premier ci-dessus fait allusion, intitulé : *Der physikalische und musikalische Tonmesser, etc., Erfunden und ausgeführt, von H. Scheibler, Seidenwaaren-Manufacturist in Crefeld. — Essen bei G.-D. Baedeker*, 1834, in-8° de VIII et 80 pages, plus une planche et 5 tableaux.

Le Phonomètre physique et musical, qui démontre par le balancier, d'une manière visible à l'œil, les vibrations absolues des tons (sons déterminés), les espèces principales des sons tempérés, ainsi que la justesse précise des accords par le tempérament égal. Essen, Baedeker, 1834, in-8.

6°. *Anleitung die Orgel unter Beibehaltung ihrer momentanen Höhe, oder nach einen bekannten* a, *vermittelst des Metronoms nach Stössen erwiesen, gleichschwebend zu stimmen.* 16 pages, plus le tableau mentionné ci-dessus 4°.

7°. *Anleitung die Orgel vermittelst der Stösse (vulgo Schwebungen), und des Metronoms, correct gleichschwebend zu stimmen.* 8 pages.

8°. Enfin un ouvrage mentionné dans l'*Acoustique* de Bindseil (Postdam, 1839), p. 621, ayant pour titre : *Ueber mathem. Stimmung, Temperatur und Orgelstimmung nach Vibrations-Differenzen oder Stössen.* 20 pages et une planche.

Quoi qu'il en soit, le fruit des utiles recherches de l'ingénieux manufacturier, mort depuis, courait donc toutes

Digitized by Google

les chances possibles d'être publié (1), s'il ne s'était trouvé dans son auditoire un amateur aussi zélé que profondément instruit dans la science musicale, qui, sans se laisser rebuter par la difficulté du sujet ni l'obscurité de l'exposition, ne craignit pas d'entreprendre la rédaction de cette intéressante méthode, et parvint à la rendre parfaitement intelligible. C'est à ce premier travail de M. Lecomte, mon ami, déjà connu par plusieurs bons écrits sur la philosophie musicale, et aux développements oraux qu'il a bien voulu y joindre, que je dois l'avantage de me trouver initié à cette curieuse théorie, et de pouvoir la réduire ici à une forme scientifique.

Avant d'entrer en matière, il est nécessaire de rappeler l'expérience de Tartini, laquelle consiste en ceci, que

Si deux sons, représentés par les nombres U *et* U′, *c'est-à-dire correspondant aux deux nombres de vibrations* U *et* U′, *sont produits simultanément, on entend, en même temps qu'eux, un troisième son, nommé* SON RÉSULTANT, *représenté par le plus grand commun diviseur des nombres* U *et* U′.

D'où il suit, comme cas particulier et cependant assez ordinaire, que si u et u' sont premiers entre eux, le son résultant sera représenté par *l'unité* (2). Ceci suppose toutefois que le nombre de vibrations représenté par ce plus grand commun diviseur, ne tombe pas au-dessous de la limite grave

(1) C'est après avoir écrit ceci que j'ai appris de M. Marloye, l'habile acousticien connu des lecteurs, que M. Wolfel pratiquait la méthode de Scheibler, ou du moins une méthode équivalente, à l'aide d'un tonomètre qu'il s'est lui-même fabriqué : j'y reviendrai plus loin. Je dirai seulement ici que M. Lecomte et moi nous étant présentés chez lui sans qu'il nous connût, nous avons trouvé en lui, non-seulement un constructeur des plus distingués, mais un savant affable, qui a mis à nous faire connaître des appareils et des procédés qui lui appartiennent en propre, la plus exquise obligeance.

(2) On doit en même temps entendre tous les harmoniques de celui-ci, et même on ne peut entendre que ces derniers dans le cas d'exception signalé ci-dessus.

Digitized by Google

des sons appréciables à l'organe de l'ouïe : car, dans ce cas, on n'entend qu'une suite de battements ; encore faut-il, pour que l'oreille puisse distinguer et compter ces battements, qu'ils ne soient ni trop distants ni trop rapprochés. Lorsqu'il y a moins d'un battement par seconde, les coïncidences sont trop éloignées pour pouvoir être comptées commodément. A un battement par seconde, on distingue assez bien le moment de faiblesse et le coup de force. Lorsque les battements sont plus rapprochés, par exemple de 2 à 6, on ne remarque alors que les coups de force, et l'on ne compte que les battements. Enfin, au delà de 6, on n'entend plus qu'un son à peu près égal et continu. Le nombre de 4 battements par seconde, résultant d'une différence de 8 vibrations sur l'unisson (comme on le verra plus loin), est celui qui se trouve dans les conditions les plus avantageuses.

Ainsi, *alternatives de force et de faiblesse, battements, sons résultants,* sont un seul et même phénomène, ne différant de lui-même que par la rapidité d'action de la cause productrice, c'est-à-dire par la multiplicité, dans un temps donné, des ondes alternativement condensées et dilatées qui résultent de la composition des ondes concourantes. Chaque battement est un coup de force, et a lieu au moment du maximum de condensation de l'*onde résultante*, c'est-à-dire au moment où coïncident les ondes condensées *composantes*. Pour plus de clarté, nommons *pulsation* l'ensemble des deux vibrations consécutives correspondant aux deux ondes, alternativement condensée et dilatée ; et alors chaque battement correspondra à une pulsation.

Le nombre de 4 battements ou de 4 pulsations par seconde ou à peu près, un peu plus ou un peu moins, est, comme nous l'avons dit, celui qui paraît présenter les conditions les plus favorables à l'observation et à l'étude du phénomène.

Dans le cas où les deux sons producteurs diffèrent peu de

Digitized by Google

l'unisson, il est clair que les coïncidences des ondes à la fois condensées ou à la fois dilatées se trouvent très-distantes les unes des autres; d'où il suit que deux sons voisins de l'unisson ne peuvent donner de son résultant, et ne produisent jamais que des battements : et il est facile de voir que pour chaque différence d'*une* pulsation dans ces sons comparés, il y aura *une* coïncidence d'ondes condensées, et, par conséquent, *un* battement.

§ II. — *Loi des battements produits par deux sons discordants.*

Ces préliminaires étant établis, cherchons le moyen de résoudre, par des observations de battements, la question principale que nous avons en vue, c'est-à-dire d'établir une méthode pour apprécier le degré de justesse des intervalles consonnants, et, par suite, pour accorder les instruments avec précision. Mais il faut, avant d'arriver là, établir, pour toutes les consonnances usitées, le nombre de battements que produit une altération d'un nombre donné de vibrations, en plus ou en moins, sur l'un ou sur l'autre des deux sons qui sont censés être en consonnance.

Or ce nombre de battements est soumis à une loi que l'auteur n'énonce pas, qu'il applique d'une manière purement empirique en suivant d'instinct une marche fort obscure, mais que l'on peut cependant formuler ainsi :

Théorème.

Soit m : n *le rapport irréductible des deux nombres de vibrations qui constituent une certaine consonnance; pour obtenir, par l'altération de cette consonnance, un battement dans un temps donné, il faut, pour chaque intervalle égal à ce temps, augmenter ou diminuer, soit le nombre de pulsations* km *correspondant, pour ce même*

Digitized by Google

temps, au premier des deux sons donnés, de la fraction $\frac{1}{n}$, *soit le nombre* kn *de la fraction* $\frac{1}{m}$.

Au premier abord, cette proposition présente toute l'apparence d'un paradoxe; car, le battement étant produit par la coïncidence des ondes condensées appartenant à chacun des deux sons, comment concevoir que cette condition soit remplie lorsque le nombre km de pulsations du premier son sera simultané avec le nombre $\left(kn \pm \frac{1}{m}\right)$ du second, ou le nombre kn du second avec le nombre $\left(km \pm \frac{1}{n}\right)$ du premier? Ce doit être là, si je ne m'abuse, le fait qui aura rebuté Savart et les autres savants désireux de pénétrer cette théorie : mais j'espère que le paradoxe va s'expliquer; et, à cet effet, je distinguerai plusieurs cas.

Premier cas. — Soit $n = 1$. Supposons que l'on veuille produire un battement dans un temps donné, par exemple dans une seconde, en altérant, en plus ou en moins, le son aigu qui est ici représenté par m. Soient alors k le nombre de pulsations du son grave, et km celui du son aigu; il est clair qu'en produisant sur celui-ci l'altération nécessaire pour lui faire faire $(km \pm 1)$ pulsations, tandis que le son grave continue à en faire k, c'est-à-dire dans une seconde, on détruira toutes les coïncidences antérieures, et l'on n'aura plus que la dernière. Or il est évident, d'après les explications données au § I, que cette coïncidence, ainsi isolée, produira un battement. Il n'y a pas besoin d'autre explication pour ce premier cas.

Deuxième cas. — Soit toujours $n = 1$; mais supposons que l'altération doive porter sur le son grave, et que l'on veuille de même, par cette altération, produire un battement au bout de chaque seconde. Alors il faut ramener le nombre des pulsations du son aigu, c'est-à-dire $(km \pm 1)$, à km, et faire varier l'autre nombre k proportionnellement

Digitized by Google

au premier. Or on a

$$\frac{km \pm 1}{k} = \frac{km}{k} \cdot \frac{km \pm 1}{km} = \frac{km}{k}\left(1 \pm \frac{1}{km}\right)$$

$$= \frac{km}{k\left(\frac{1}{1 \pm \frac{1}{km}}\right)} = \frac{km}{k\left(1 \pm \frac{1}{km} + \frac{1}{k^2 m^2} \mp \frac{1}{k^3 m^3} + \cdots\right)}$$

$$= \frac{km}{k \mp \frac{1}{m} + \frac{1}{km^2}\left(1 \mp \frac{1}{km} + \frac{1}{k^2 m^2} \cdots\right)},$$

ou enfin, en négligeant la série qui multiplie la fraction $\frac{1}{k}$ nécessairement très-petite,

$$\frac{km \pm 1}{k} = \frac{km}{k \mp \frac{1}{m}},$$

très-approximativement.

Le théorème se trouve ainsi démontré pour ce second cas.

Il est bien clair toutefois, 1° que l'altération indiquée comme devant produire le battement n'est qu'approximative, comme je viens de le dire; 2° que le battement n'a pas lieu rigoureusement au bout d'une seconde de temps, mais véritablement à la fin de la $k^{ième}$ pulsation du son grave. Cependant, l'erreur commise sur le temps n'étant ainsi que d'une fraction de la durée de cette même pulsation, c'est-à-dire d'une fraction qui se compte par centième ou par millième de seconde, est tout à fait inappréciable et insensible : et telle est la solution du paradoxe.

(Une observation analogue est applicable au cas suivant; mais il nous sera permis de la sous-entendre.)

Troisième cas. — m et n sont quelconques, et l'on peut supposer $m > n$ ou $m < n$ indifféremment. Alors il suffit d'altérer un des deux nombres km ou kn, à volonté; la

Digitized by Google

démonstration servira également pour le son aigu et pour le son grave, sans avoir besoin d'être répétée.

Avant d'aborder ce troisième cas de la question, je poserai ce petit problème :

Une longueur donnée l étant supposée divisée, d'une part en m *parties égales par des points noirs* M, M′, M″,..., *et, d'autre part, en* n *parties égales par des points rouges* N, N′, N″,...; *on demande quels sont les deux points, l'un noir, l'autre rouge, qui sont les plus rapprochés l'un de l'autre* (on suppose m et n premiers entre eux).

Solution.— En appelant a la longueur de chaque partie aliquote de la première espèce, b chaque partie de la seconde, on a $l = ma = nb$, ou $\frac{m}{n} = \frac{b}{a}$. Si un point noir pouvait coïncider avec un point rouge, en nommant m' et $(m - m')$, n' et $(n - n')$, les nombres de divisions pour lesquels aurait lieu cette coïncidence, on aurait aussi $m'a = n'b$ et $(m - m')\,a = (n - n')\,b$, d'où $\frac{m'}{n'} = \frac{b}{a} = \frac{m}{n}$. Or, cela étant impossible d'après l'hypothèse, il s'agit simplement de trouver une fraction $\frac{m'}{n'}$ qui approche le plus possible de $\frac{m}{n}$. Pour cela, supposons que l'on réduise $\frac{m}{n}$ en fraction continue; il résulte des propriétés connues des nombres de cette forme, que la dernière réduite étant la fraction $\frac{m}{n}$ elle-même, l'avant-dernière $\frac{m'}{n'}$ sera la fraction cherchée.

Arrivons maintenant à la question principale, et soit, comme plus haut, $m : n$ le rapport des nombres de vibrations correspondant à une consonnance donnée; soit, de plus, $\frac{m'}{n'}$ la dernière réduite de la fraction $\frac{m}{n}$ mise sous forme de fraction continue. Remplaçons les deux nombres de pulsations km et kn qui ont lieu dans le même temps,

Digitized by Google

par exemple dans une seconde, respectivement par les nombres $(km + m')$ et $(kn + n')$. Alors, si ces deux nouveaux nombres de pulsations ont lieu dans le même temps de *une seconde*, toutes les coïncidences qui avaient lieu antérieurement et produisaient la consonnance $\frac{m}{n}$, seront détruites, et elles seront remplacées par *une* seule coïncidence, qui, tombant à la fin de la dernière pulsation devenue seule commune aux deux sons pour la même durée de *une* seconde, produira ainsi *un* battement au bout de cet intervalle de temps; mais alors il reste à réduire convenablement le rapport $\frac{km + m'}{kn + n'}$, de manière qu'un seul des deux sons se trouve altéré. Supposons que l'on veuille faire porter l'altération sur le numérateur seul, de manière à ramener le dénominateur à kn, ce qui revient à ramener le son qui lui correspond à sa hauteur primitive ; c'est à quoi nous parviendrons en effectuant les transformations qui suivent :

$$\frac{km + m'}{kn + n'} = \frac{km + m'}{kn} \cdot \frac{kn}{kn + n'} = \frac{km + m'}{kn} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n'}{kn}}$$

$$= \frac{km + m'}{kn}\left(1 - \frac{n'}{kn} + \frac{n'^2}{k^2 n^2} - \frac{n'^3}{k^3 n^3} + \cdots\right)$$

$$= \frac{1}{kn}\left[km + \frac{1}{n}(nm' - mn') - \frac{n'}{kn^2}(nm' - mn') + \frac{n'^2}{k^2 n^3}(nm' - mn') \ldots\right]$$

$$= \frac{1}{kn}\left[km + \frac{1}{n}(nm' - mn')\left(1 - \frac{n'}{kn} + \frac{n'^2}{k^2 n^2} - \frac{n'^3}{k^3 n^3} + \cdots\right)\right].$$

Maintenant, puisque $\frac{m'}{n'}$ est la réduite qui précède $\frac{m}{n}$, on a $nm' - mn' = \pm 1$; et alors l'expression précédente se réduit à

$$\frac{1}{kn}\left[km \pm \frac{1}{n}\left(1 - \frac{n'}{kn} + \frac{n'^2}{k^2 n^2} - \frac{n'^3}{k^3 n^3} + \cdots\right)\right];$$

d'où résulte, en réduisant à son premier terme ou à l'unité

Digitized by Google

la série très-décroissante qui multiplie la fraction $\frac{m}{n}$,

$$\frac{km + m'}{kn + n'} = \frac{km \pm \frac{1}{n}}{kn},$$

très-approximativement.

Il faut donc, conformément à l'énoncé de la proposition générale, augmenter ou diminuer le nombre de pulsations km, de la fraction $\frac{1}{n}$, pour avoir un battement. Il en serait de même pour le nombre kn, qu'il faudrait augmenter ou diminuer de $\frac{1}{m}$. On peut présenter l'énoncé du théorème précédent sous cette forme plus générale :

Pour avoir le nombre de battements produits dans un temps donné, par deux sons qui se trouvent à peu près en consonnance, multipliez le nombre des pulsations qui altèrent celui des deux sons que vous regardez comme trop haut ou trop bas, par le terme du rapport de consonnance qui correspond au son supposé exact. — Ce terme multiplicateur, nous le nommerons le *coefficient de la consonnance :* chaque consonnance a deux coefficients entre lesquels il faut choisir, suivant que l'on veut altérer le son aigu ou le son grave.

Corollaire. — Le nombre absolu des vibrations de chacun des deux sons n'entre pour rien dans le résultat : ainsi, le nombre de battements est le même quel que soit le degré d'acuité ou de gravité des deux sons ; il ne dépend que de l'espèce de la consonnance et de la valeur absolue du nombre des pulsations qui l'altèrent ; il est aussi le même, que l'altération soit en plus ou qu'elle soit en moins.

Réciproquement : *Étant donné le nombre des battements produits par une consonnance altérée,* il est facile de *déterminer le nombre de pulsations que chacun des deux sons fait de plus ou de moins que le nécessaire : pour cela, divisez le nombre des battements par le terme du rapport qui correspond au son regardé comme juste.*

Digitized by Google

Quant à dire si l'altération est en *plus* ou en *moins*, c'est une chose très-facile, pourvu toutefois que l'on y apporte du sentiment et de l'habitude.

Mais ce n'est pas tout : on peut prouver, comme complément de la proposition précédente, que si l'on ajoute un petit nombre α à l'un des termes du rapport $\frac{km}{kn}$, de manière, par exemple, à produire le rapport $\frac{km+\alpha}{kn}$, et que l'on cherche le plus grand diviseur commun aux deux termes de cette nouvelle expression, on arrivera, par la suite des opérations, à un reste $r = n\alpha$ très-petit relativement au diviseur correspondant, lequel sera approximativement égal à k.

En effet, on doit évidemment arriver à une réduite $\frac{m}{n}$; supposons-la précédée de ces deux autres $\frac{m'}{n'}$, $\frac{m''}{n''}$: on aura

$$m = m'q + m'', \qquad n = n'q + n'';$$

d'où

$$\frac{m}{n} = \frac{m'q + m''}{n'q + n''}.$$

Pour reproduire $\frac{km+\alpha}{kn}$, il suffit de tenir compte du reste correspondant à q; soient r ce reste et d le diviseur : on aura

$$\frac{km+\alpha}{kn} = \frac{m'\left(q + \frac{r}{d}\right) + m''}{n'\left(q + \frac{r}{d}\right) + n''} = \frac{m + \frac{m'r}{d}}{n + \frac{n'r}{d}},$$

ou plutôt

$$\frac{km+\alpha}{kn} = \frac{md + m'r}{nd + n'r} = \frac{m\left(d + \frac{n'r}{n}\right) + \left(m' - \frac{mn'}{n}\right)r}{n\left(d + \frac{n'r}{n}\right)};$$

Digitized by Google

ce qui fait voir d'abord que

$$k = d + \frac{n'r}{n}.$$

Ensuite, quant à la quantité

$$m' - \frac{mn'}{n},$$

elle se transforme en

$$\frac{nm' - mn'}{n} = \pm \frac{1}{n};$$

donc

$$\frac{km + \alpha}{kn} = \frac{km \pm \frac{r}{n}}{kn};$$

donc

$$\pm \alpha = \frac{r}{n},$$

d'où

$$r = \pm n\alpha.$$

Soient pour exemple

$$m = 8, \quad n = 5, \quad k = 660, \quad \alpha = 3;$$

d'où

$$\frac{km + \alpha}{kn} = \frac{5283}{3300} = \frac{8.660 + 3}{5.660}.$$

On trouve, en opérant :

	1	1	1	1	$1 + \frac{15}{651}$
5283 1983	3300 1317	1983 666	1317 651	666 15	651
	$\frac{1}{1}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{8}{5}$

d'où

$$d = 651, \quad r = 15, \quad m' = 5, \quad n' = 3.$$

Digitized by Google

Vérification :

$$\frac{5\left(1+\frac{15}{651}\right)+3}{3\left(1+\frac{15}{651}\right)+2}=\frac{8.651+5.15}{5.651+3.15}=\frac{8\left(651+\frac{3.15}{5}\right)+\frac{15}{5}}{5\left(651+\frac{3.15}{5}\right)}$$

$$=\frac{8(651+9)+3}{5(651+9)}=\frac{8.660+3}{5.660}.$$

De là résulte cette conséquence remarquable, que

Pour tout nombre $\alpha \pm$ de pulsations ajouté à km, dans un temps donné, sur la consonnance $\frac{m}{n}$, le petit reste obtenu dans le cours de la réduction en fraction continue, du rapport $\frac{km \pm \alpha}{kn}$, est précisément égal au nombre de battements produits dans le même temps par suite de l'altération.

Scheibler explique les résultats obtenus dans ce paragraphe, au moyen de ce qu'il nomme des *tons de combinaison;* mais sa théorie, en tant qu'on la considérerait comme fondée sur une pareille base, est entièrement fausse : le principe qui le guide réellement, à son insu, n'est autre que la détermination du plus grand diviseur commun entre les deux nombres de vibrations d'où résulte la consonnance qu'il considère. Les divers restes successifs auxquels donne lieu l'opération, sont pris par l'auteur comme des nombres de vibrations effectives constituant ces prétendus tons de combinaison qui ne peuvent être autre chose que les harmoniques, soit du son résultant, soit de la succession des battements qui en tiennent lieu (1).

(1) Notons toutefois les assertions de l'auteur : « Avec les fourchettes, » il distingue fort bien les tons de combinaison, mais non pas à l'orgue; » et par contre, il distingue bien à l'orgue les battements de la tierce » mineure qui a cinq tons de combinaison, tandis qu'aux fourchettes,

Digitized by Google

§ III. — *Usage du métronome pour mesurer le nombre des battements produits dans un temps donné.*

Dans ce qui précède, nous avons constamment supposé que l'on savait mesurer exactement le nombre des battements produits dans une seconde. C'est un point dont il faut maintenant nous occuper.

Pour obtenir cette mesure, on emploie un *métronome*, c'est-à-dire un petit pendule composé d'une règle plate et d'un poids mobile servant à régler ses oscillations.

La règle plate est graduée depuis le n° 40 jusqu'au n° 90, pour indiquer le nombre de mouvements (de 40 à 90) qu'il exécute dans une minute : de sorte qu'au n° 60, il fait une oscillation par seconde. La graduation porte les dixièmes.

Ainsi, lorsque le métronome est au n° 60, et que, pendant la durée d'une oscillation, on entend 4 battements, cela prouve qu'il se produit 4 battements par seconde.

Pour des battements d'une vitesse donnée, quel que soit le numéro du pendule (ce numéro est arbitraire), *le nombre des battements qui ont lieu pendant chaque oscillation, multiplié par le numéro du pendule* (qui n'est autre que le nombre d'oscillations par minute), *donne toujours pour produit le nombre de battements par minute.* Et pour deux sons voisins de l'unisson, ce même produit indique encore le nombre de pulsations de plus ou de moins que fait l'un des sons par rapport à l'autre, pendant une minute de temps.

Pour faciliter l'observation, il faut toujours placer le poids curseur sur un numéro tel, qu'il en résulte un nombre exact de battements par chaque oscillation.

» il distingue assez difficilement les battements des intervalles de trois tons » de combinaison. »

Il dit ailleurs que « les tons graves de combinaison de la tierce mineure » et de la sixte majeure sont aux fourchettes encore plus distincts que les » autres, et que c'est peut-être parce que leur ton n'est aucun des deux » tons d'intervalle qui les font naître. »

Digitized by Google

Scheibler réduisait généralement ses calculs au cas le plus commode de *quatre* battements par chaque oscillation du métronome. Pour deux sons voisins de l'unisson, le numéro marqué par le métronome se trouve ainsi égal au *quart* du nombre de pulsations de plus ou de moins par minute, et à 15 fois le nombre de pulsations de plus ou de moins par seconde, de sorte que chaque unité de la graduation correspond à un *quinzième* de pulsation par seconde. De là, pour simplifier les calculs, Scheibler se trouva conduit à évaluer les degrés d'acuité et de gravité des sons, non en nombres de vibrations, mais, suivant son expression, en *degrés de pendule* dont chacun était le *quinzième* d'une pulsation, ou bien, ce qui est la même chose, dont chacun était à une simple vibration dans le rapport de 1 à $7\frac{1}{2}$. Ainsi, au lieu de dire : telle note correspond à 880 vibrations par seconde, il disait qu'elle avait 6600 degrés de pendule.

Ainsi, en règle générale, *Pour réduire en nombre de pulsations ou de doubles vibrations un nombre donné de degrés, divisez par* 15.—Et réciproquement: *Pour réduire en degrés un nombre de pulsations, multipliez par* 15. — *Si, au lieu de pulsations, on veut compter par vibrations simples, il faut substituer le nombre* $7\frac{1}{2}$ *au nombre* 15 (1).

« En comparant la vitesse des battements pendant 50 à » 60 secondes, dit l'auteur, avec les mouvements du mé- » tronome de tel ou tel numéro, on distingue assez bien

(1) Il eût peut-être mieux valu prendre pour *unité*, et ainsi nommer *degré*, le *soixantième* de pulsation. Alors, le nombre de degrés eût été le produit même du nombre de battements correspondant à chaque oscillation du pendule, multiplié par le numéro du pendule, au lieu d'être le quart de ce nombre : les calculs eussent été encore plus simples. L'auteur, prévoyant sans doute l'objection, répond, à la vérité, qu'il eût alors fallu ramener le tout au cas d'un seul battement par chaque oscillation du pendule; d'où la nécessité de quadrupler le nombre des fourchettes, et, par suite, difficulté bien plus grande d'obtenir des mouvements corrects et des mesures exactes. Quant à nous, ne proposant qu'un procédé de calcul légèrement différent, et ne portant nullement sur les expériences, nous avouons n'être pas frappé de l'évidence des raisons alléguées par l'auteur.

Digitized by Google

» si 4 battements ont lieu au n° 60 ou au n° 60,1. On » distingue donc une différence d'*un dixième* de degré de » pendule ou de $\frac{1}{75}$ de vibration, et cela aussi bien sur un » ton de 500 que sur un ton de 100. »

Il ajoute que la somme des erreurs qu'il commettait sur toute l'étendue d'une octave, en procédant par les demi-tons successifs, ne dépassait jamais 28 *centièmes* de vibration.

§ IV. — *Applications diverses de la théorie précédente.*

Comme exemple des applications que l'on peut faire des principes qui viennent d'être démontrés, nous résoudrons ici diverses questions.

Convenons d'abord d'une notation pour désigner les divers degrés de l'échelle générale des sons.

Nous nommerons simplement *la* le *la* diapason; et nous le désignerons dans l'écriture par LA.

Nous affecterons de l'indice supérieur 1, l'octave des sons qui suivent à l'aigu, si^1, ut^1, ut^{*1},..., jusqu'à la^1 inclusivement; puis de l'indice supérieur 2, les sons de l'octave suivante si^{b2}, si^2, ut^2,..., jusqu'à la^2 inclusivement; et ainsi de suite.

Maintenant, revenant au LA diapason, nous affecterons de l'indice inférieur 1, les sons de l'octave grave sol_1 fa^*_1, fa_1,..., jusqu'à la_1; puis de l'indice inférieur 2, les sons de l'octave suivante, toujours en suivant au grave, sol^*_2, sol_2, fa^*_2,..., jusqu'au la_2, et ainsi de suite.

Par exception à ce qui vient d'être convenu, et pour simplifier, comme presque tous les calculs de la théorie suivante portent sur les notes de la première octave descendante LA — la_1, on trouvera souvent les notes de cette octave, savoir : sol^*_1, sol_1, fa^*_1,..., jusqu'à si_1, si^b_1, représentées sans l'indice inférieur 1 qui les caractérise (1).

(1) Il est bon, afin d'éviter une équivoque, de rejeter l'emploi des dési-

Digitized by Google

Les notes qui ne différeront que par un petit nombre de vibrations, des notes de l'échelle normale (telles sont, entre autres, les notes dont on se servira, dans ce qui suit, sous le nom d'*auxiliaires*), seront désignées par les mêmes notations que les notes correspondantes de cette échelle; mais en les citant, nous indiquerons les nombres de vibrations, de pulsations, ou de degrés, qui les caractérisent.

Nous prendrons, avec Scheibler, le *la* de 440 pulsations, ou 880 vibrations, ou (pour parler comme lui) de 6600 degrés de pendule, pour le *la* ou diapason normal (nous expliquerons plus tard la raison de cette préférence) : c'est donc ce *la* que nous désignerons spécialement par la notation LA; mais les notes qui en seront suffisamment voisines, prises, comme nous venons de le dire, pour servir accidentellement de diapason, recevront la même notation; seulement nous aurons soin d'en indiquer l'écart.

Cela posé, passons aux questions que nous nous sommes proposé de résoudre.

PREMIÈRE QUESTION.

De combien de pulsations par seconde (1) *faut-il altérer, en plus ou en moins, l'un des termes des* 12 *consonnances usitées, pour produire un battement dans ce même temps?* — Et réciproquement : *Combien de battements obtiendra-t-on en altérant d'une pulsation en plus ou en moins, l'un des deux termes?* (Voyez le tableau n° I.)

---

gnations la^* et la^b pour les demi-tons voisins d'un *la* quelconque, en leur préférant, ce qui est presque toujours possible sans inconvénient, puisqu'il est ici question exclusivement de la gamme tempérée, les notations si^b et sol^*. On doit voir, en effet, que si l'on procédait autrement, les la^* dans les octaves ascendantes, et les la^b dans les octaves descendantes, n'auraient point les mêmes indices que les *la* dont ils ne seraient cependant que des altérations.

(1) Ce serait la même chose pour un autre temps quelconque pris pour terme de comparaison : nous disons *une seconde* pour fixer les idées. Dans tout ce qui suivra, lorsqu'on ne désignera pas le temps, c'est toujours la seconde qu'il faudra sous-entendre.

Digitized by Google

Exemple. — 1°. De combien faut-il descendre le la_2 de 110 pulsations pour que, ainsi altéré, il fasse avec le LA *diapason* de 440 pulsations, 2 battements au n° 80?

Réponse : Comme 2 battements au n° 80 égalent $2\frac{2}{3}$ battements au n° 60, il faut diviser $2\frac{2}{3}$ par 4, ce qui donne $\frac{2}{3}$ de pulsation; donc le la_2 demandé aura $109\frac{1}{3}$ pulsations. (On aurait le même résultat avec le la_2 de $110\frac{2}{3}$ pulsations.)

2°. Combien de battements par seconde produirait un la_1 de 220 pulsations avec un mi_1 de 332?

Réponse : $220 \times \frac{3}{2} = 330$; retranchant de 332, on a 2, qu'il faut multiplier par 2. Donc on aura 4 battements par seconde.

DEUXIÈME QUESTION.

Étant donné le la_1 *de* 220 *pulsations et les notes ascendantes qui font avec lui les consonnances de tierce, quarte, quinte, sixte :*

1°. *De combien faudra-t-il altérer ces dernières pour qu'elles fassent avec le* la *donné* 1 *battement par seconde?*

Et — 2°. *Combien de battements par seconde les notes ainsi altérées feront-elles avec le* LA *de* 440 *pulsations?*

La réponse est dans le tableau n° II.

Exemple. — 1°. Le *ré* de 293 pulsations par seconde, quarte aiguë du la_1 de 220, et qui est à ce *la* dans le rapport de 4 : 3, doit être altéré de $\frac{1}{3}$ de pulsation pour faire 1 battement par seconde.

2°. Et comparé au LA de 440 pulsations, qui en est à la quinte aiguë, dans le rapport de 3 : 2, il fait avec lui 1 battement par seconde.

Première remarque. — Soit $\frac{m}{n}$ une consonnance; m et n étant premiers entre eux, et tous deux impairs, $\frac{m.2^p}{n}$ et $\frac{m}{n.2^p}$ représenteront la même consonnance redoublée suc-

Digitized by Google

cessivement, à l'aigu ou au grave, à une octave quelconque de rang p.

Le nombre des pulsations en plus ou en moins, nécessaires pour produire un battement, sera :

	pour la corde aiguë	pour la corde grave
sur la consonnance $\frac{m}{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{m}$
$\frac{m.2^p}{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{m.2^p}$
$\frac{m}{n.2^p}$	$\frac{1}{n.2^p}$	$\frac{1}{m}$

Et réciproquement, le nombre des battements produits par une pulsation de plus ou de moins sera :

	pour la corde aiguë	pour la corde grave
sur la consonnance $\frac{m}{n}$	n	m
$\frac{m.2^p}{n}$	n	$m.2^p$
$\frac{m}{n.2^p}$	$n.2^p$	m.

D'où l'on peut conclure que :

Étant donnés une consonnance simple (c'est-à-dire dans les termes de laquelle n'entre point le facteur 2) et le nombre de battements correspondant à une altération, en plus ou en moins, d'un nombre donné de pulsations sur l'un de ces deux termes : 1° ce nombre de battements restera le même pour toutes les octaves aiguës si l'altération porte sur la corde aiguë, et pour toutes les octaves graves s'il s'agit de la corde grave ; 2° dans le cas opposé (c'est-à-dire pour les octaves graves quand l'altération porte sur la corde aiguë, ou pour les octaves aiguës quand l'altération porte sur la corde grave), le nombre de battements pour un

Digitized by Google

nombre donné de pulsations se multiplie comme l'octave, et le nombre de pulsations pour un nombre donné de battements varie en raison inverse de l'octave.

Voyez, tableau n° I, l'application de ces principes : 1° à l'unisson, à l'octave, et à la double octave; 2° à la tierce majeure, à la dixième, et à la dix-septième; 3° à la quinte et à la douzième.

Deuxième remarque. — Supposons que l'on partage l'octave en deux consonnances, représentées respectivement par les deux fractions $\frac{m.2^p}{n}$ et $\frac{n}{m.2^{p-1}}$. Alors, de deux choses l'une : ou le ton intermédiaire est représenté par n, et les extrémités de l'octave par $m.2^p$ et $m.2^{p-1}$; ou le son intermédiaire est représenté par $m.2^p$, et les extrêmes par $2n$ et n. Dans le second cas, une altération sur la note moyenne produira avec les extrêmes des nombres de battements identiques (*voyez* au tableau n° II les exemples de l'*ut*, du *ré*, du *fa*). Dans le premier cas, au contraire, les nombres de battements produits par la note moyenne avec les extrêmes seront doubles l'un de l'autre : exemples de l'*ut**, du *mi* et du *fa**.

TROISIÈME QUESTION.

Supposons que l'on fasse un la *auxiliaire en haussant le* la_1 *de manière qu'il fasse avec le* LA 2 *battements au* n° 80 : *on demande combien il aura de vibrations ?*

Réponse : $442\frac{2}{3}$.

En effet, $\frac{2.80}{60} = \frac{8}{3}$, nombre qu'il faut ajouter à 440.

QUATRIÈME QUESTION.

Quels battements le la_1 *auxiliaire du numéro précédent fera-t-il avec les notes de la gamme tempérée normale* (1)? (*Voir* le tableau n° III, partie *a*.)

(1) C'est-à-dire avec celles des notes de cette gamme qui correspondent approximativement aux douze consonnances usitées.

Digitized by Google

Réponse : Soient généralement A le nombre de vibrations du la_1 auxiliaire, B celui d'un certain tuyau tempéré, $\frac{m}{n}$ le rapport de consonnance par lequel il faudrait multiplier A pour avoir B si A n'était pas altéré ; soit N le nombre de battements (de 1 à 4) le plus facile à compter, tout en donnant un quotient $\frac{60}{N}$ qui ne sorte pas des limites du métronome ; enfin soit X le numéro du métronome : on aura

$$X = \left(B - \frac{m}{n} A\right) \frac{n}{2} \cdot \frac{60}{N}.$$

(Si A et B représentaient des nombres de pulsations au lieu de représenter des nombres de vibrations, il faudrait multiplier par n au lieu de $\frac{n}{2}$: il s'agit d'éviter les fractions ; $\frac{60}{N}$ est toujours entier. Quel que soit le signe de la différence $\left(B - \frac{m}{n} A\right)$, le nombre des battements est le même ; mais il faut noter ce signe pour ce qui suivra.)

CINQUIÈME QUESTION.

Quelles modifications subiront les numéros du métronome si le diapason, au lieu d'être de 880 *vibrations, en a* 840, *ou* 920, *ou tout autre nombre?* (*Voir* le tableau n° III, partie *b*.)

Réponse : Il faut considérer le nombre A de vibrations du la_1 auxiliaire comme se composant de deux parties : l'une a dépendant du LA diapason (et qui en serait ici la moitié), l'autre ε constante d'où dépendent les battements. On peut donc écrire

$$X = \left[B - \frac{m}{n}(a + \varepsilon)\right] \frac{n}{2} \frac{60}{N}.$$

Or, si l'on change le diapason, on aura

$$X' = \left[B' - \frac{m}{n}(a' + \varepsilon)\right] \frac{n}{2} \frac{60}{N};$$

Digitized by Google

d'où

$$X + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N} = \left(B - \frac{m}{n} a\right) \frac{n}{2} \frac{60}{N},$$

$$X' + \varepsilon \frac{m}{n} \frac{60}{N} = \left(B' - \frac{m}{n} a'\right) \frac{n}{2} \frac{60}{N}.$$

Maintenant, en nommant D et D′ les deux diapasons, on aura

$$B' = B \frac{D'}{D} \;\Big|\; a' = a \frac{D'}{D};$$

d'où

$$X' + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N} = \left(B - \frac{m}{n} a\right) \frac{n}{2} \frac{60}{N} \frac{D'}{D},$$

ou enfin

$$X' = -\varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N} + \left(X + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N}\right) \frac{D'}{D}.$$

Ce résultat peut être mis sous une forme plus commode; car, en faisant

$$d = D' - D,$$

on a encore

$$X' = X + \left(X + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N}\right) \frac{d}{D}.$$

Ce n'est pas tout : comme $D = 880$, on peut, pour chaque opération, préparer le coefficient de d de manière à n'avoir plus qu'à substituer la valeur de cette quantité, c'est-à-dire le nombre de vibrations dont le nouveau diapason excède le diapason normal de 880 vibrations. A cet effet, on a d'abord $\varepsilon = \frac{8}{3}$ pour tous les cas. Ensuite, pour les divers

*ut**..	$m = 5$	$N = 2$	$\varepsilon \frac{m}{n} \frac{60}{N} = 200$	$X + 200 = +61,93 + 200 = 261,93$
ré...	4	4	80	$X + 80 = -65,09 + 80 = 14,91$
mi..	3	4	60	$X + 60 = -71,18 + 60 = -11,18$
*fa**..	5	4	100	$X + 100 = +49,74 + 100 = 149,74$

*ut**....	$+ X' = 61,93 + 0,2976\, d$	et pour $d = \pm 40$	$61,93 \pm 11,90$
ré.....	$- X' = 65,09 - 0,0169\, d$		$65,09 \mp 0,68$
mi. ...	$- X' = 71,18 + 0,0127\, d$		$71,18 \pm 0,51$
*fa** ...	$+ X' = 49,74 + 0,1702\, d$		$49,74 \pm 6,81$

Digitized by Google

SIXIÈME QUESTION.

Enfin, *Quel nombre de degrés de plus ou de moins devra marquer le métronome si le* la *auxiliaire, au lieu de faire avec le* LA *2 battements au* n° 80, *les fait, par exemple, au* n° 72 *ou au* n° 88, *c'est-à-dire s'il a* $\frac{4}{15}$ *de vibrations de moins ou de plus?* (Tableau n° III, partie c.)

Réponse : Pour ce cas-ci, c'est a et B qui restent constants, et ε qui varie.

Alors

$$X' - X = (\varepsilon - \varepsilon')\frac{m}{2}\frac{60}{N}.$$

Dans la question particulière, pour le n° (80 ∓ 8), on a

$$\varepsilon - \varepsilon' = \pm\frac{4}{15},$$

puis, pour

*ut**	$\frac{m}{2}\times\frac{60}{N} = \frac{5}{2}\times 30 = 75$	$\frac{4}{15}\times 75 = 20$
ré	..... $2\times 15 = 30$	$\frac{4}{15}\times 30 = 8$
mi	..... $\frac{3}{2}\times 15 = \frac{45}{2}$	$\frac{4}{15}\times\frac{45}{2} = 6$
*fa**	..... $\frac{5}{2}\times 15 = \frac{75}{2}$	$\frac{4}{15}\times\frac{75}{2} = 10$

d'où, pour

*ut**	$+X' = 61,93 \pm 20$ (1)
ré	$-X' = 65,09 \mp 8$
mi	$-X' = 71,18 \mp 6$
*fa**	$+X' = 49,74 \pm 10$

Remarques. — 1°. $\left(B - \frac{m}{n}a\right)$ est le nombre de vibrations (que l'on peut appeler Δ) dont la note tempérée que

(1) Le manuscrit porte 10 au lieu de 20 ; c'est sans doute par erreur.

Digitized by Google

l'on veut accorder surpasse la note consonnante. En adoptant cette notation, on a

$$X + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N} = \Delta \frac{30n}{N};$$

d'où

$$X' = X + \frac{30n}{N} \Delta \frac{d}{D}.$$

2°. Pour préparer les calculs précédents, on peut former le tableau des multiples de $\frac{1}{880}$; savoir :

$$\frac{1}{880} = \frac{1}{D} = 0,00113636,$$

$$\frac{2}{D} = 0,00227273,$$

$$\frac{3}{D} = 0,00340909,$$

$$\frac{4}{D} = 0,00454545,$$

$$\frac{5}{D} = 0,00568182,$$

$$\frac{6}{D} = 0,00681818,$$

$$\frac{7}{D} = 0,00795455,$$

$$\frac{8}{D} = 0,00909091,$$

$$\frac{6}{D} = 0,01022727.$$

3°. Mais ce n'est pas tout; nous pouvons établir ici plusieurs éléments propres à éclairer les questions précédentes et à en faciliter les solutions : d'abord, un tableau des puissances de la racine 12e de 2 et de leurs multiples. (*Voyez* le tableau n° IV.)

Il est clair que par le moyen de cette Table, étant donné un diapason ou un LA d'un nombre quelconque de vibra-

Digitized by Google

tions, ou de pulsations, ou de *degrés* de pendule, suivant l'expression de Scheibler, on obtiendra immédiatement le nombre de vibrations, ou de pulsations, ou de degrés, appartenant à une quelconque des notes de la gamme tempérée correspondant à ce *la* pris pour base.

4°. Ensuite, le résultat de l'application de ce tableau IV aux trois cas particuliers du diapason de 880 vibrations par seconde considéré comme diapason normal, puis des diapasons de 840 et 920 vibrations considérés comme diapasons extrêmes. (*Voyez* le tableau n° V.)

5°. Enfin, aux deux tableaux précédents nous en joindrons un autre contenant 1° les valeurs géométriques des notes de la gamme pour le diapason normal, 2° les valeurs qui leur correspondent dans la gamme tempérée, et 3° les différences des unes et des autres, ou, pour parler plus exactement, les excès (positifs ou négatifs) de ces dernières sur les premières. Ces différences sont précisément les valeurs de Δ mentionnées ci-dessus (première remarque). [*Voyez* le tableau n° VI.]

Nous avons augmenté les tableaux n°s IV et V de quelques nombres auxiliaires dont l'usage sera indiqué plus tard.

§ V. — *Suite des applications.*

Question. — *Étant donnés deux sons qui soient approximativement dans le rapport d'une consonnance représentée par* m : n, *évaluer leur différence exacte.*

Soit $\frac{mk}{nk+n'}$ le rapport de deux sons donnés, le son correspondant au numérateur étant supposé correct, tandis que celui du dénominateur serait altéré d'un nombre de pulsations égal à n'. Dans ce cas, la question serait immédiatement résolue si les deux sons faisaient ensemble un nombre appréciable de battements dans un temps donné : b étant ce nombre de battements, on aurait $n' = \pm \frac{b}{m}$ pour le nombre de *pulsations* surabondantes du son correspon-

Digitized by Google

dant au dénominateur. Mais pour le cas plus général où l'on ne peut avoir de semblables battements, intercalons un troisième son approximativement représenté par pk, de sorte que le premier soit à ce troisième à peu près $:: m : p$, et celui-ci au deuxième à peu près $:: p : n$, les trois nombres m, n, p étant d'abord supposés premiers entre eux deux à deux.

Cela posé, admettons que le son auxiliaire fasse avec le premier son donné B battements par minute; leur rapport, c'est-à-dire celui de leurs nombres respectifs de *pulsations* pour une minute, pourra être représenté, soit par $\frac{mk - \frac{B}{p}}{pk}$, soit par $\frac{mk}{pk + \frac{B}{m}}$, B étant ici additif ou soustractif suivant que le son auxiliaire sera trop haut ou trop bas par rapport au son fixe. Le premier son étant pris pour point de départ ou pour son fondamental, adoptons la seconde forme; puis comparons le son auxiliaire au deuxième son donné, et supposons qu'ils fassent ensemble B′ battements par seconde: leur rapport pourra être représenté par

$$\frac{pk + \frac{B}{m}}{nk + \frac{nB}{mp} + \frac{B'}{p}}.$$

Mais on a

$$\frac{mk}{nk + \frac{b}{m}} = \frac{mk}{pk + \frac{B}{m}} \times \frac{pk + \frac{B}{m}}{nk + \frac{nB}{mp} + \frac{B'}{p}} = \frac{mk}{nk + \frac{nB}{mp} + \frac{B'}{p}};$$

d'où

$$\frac{b}{nm} = \frac{B}{mp} + \frac{B'}{pn}.$$

Ce nombre serait nul si l'on avait $nB + mB' = 0$, c'est-à-dire, 1° si les nombres B et B′ étaient de signes contraires,

Digitized by Google

ce qui signifierait que le tuyau auxiliaire est trop élevé par rapport à l'un des tuyaux proposés et trop bas par rapport à l'autre ; et si, en outre, 2° on avait $B : B' :: m : n$.

Les nombres m, n, p ont été supposés premiers entre eux, mais ils pourraient ne pas l'être. Soient α le plus grand commun diviseur de m et p, β celui de n et p; il est indifférent que m et n soient ou ne soient pas premiers entre eux: au surplus, γ étant le plus grand commun diviseur de m et n, l'altération serait $\frac{\gamma b}{m}$, et l'on aurait

$$\frac{\gamma b}{mn} = \frac{\alpha B}{mp} + \frac{\beta B'}{np}.$$

Pour comprendre comment m et n peuvent avoir un diviseur commun, il faut observer que pour l'intercalation du troisième son, il est ordinairement nécessaire de multiplier les deux termes du rapport de la consonnance approximative proposée, par un certain nombre entier. Ainsi, dans l'octave $\frac{m}{n} = \frac{2}{1}$, si l'on intercale une note qui fasse, par exemple, la quinte avec le dessus et la quarte avec la basse, il faudra poser

$$\frac{1}{2} = \frac{6}{4} \times \frac{4}{3};$$

alors

$$m \text{ devient} = 6,\ p = 4,\ n = 3,\ \alpha = 2,\ \beta = 1,\ \gamma = 3.$$

Une seconde remarque n'est pas moins nécessaire, savoir, que pour bien comprendre la formule qui vient d'être démontrée, il faut considérer B et B′ comme les produits des nombres de battements, pour chaque oscillation du métronome, par les numéros correspondants du pendule. Ce sont donc, à proprement parler, comme on l'a déjà dit, des nombres de *pulsations par minute*. On aura des nombres de *vibrations par seconde* en divisant par 30.

Digitized by Google

Premier exemple.

Soit

$$\frac{m}{n} = \frac{\text{LA}}{si_1} = \frac{16}{9};$$

et supposons le *si* en erreur de quelques vibrations.

Intercalons un *mi*, pour lequel, en consonnance exacte, on aurait

$$\frac{m}{p} = \frac{\text{LA}}{mi_1} = \frac{4}{3}, \quad \text{et} \quad \frac{p}{n} = \frac{mi_1}{si_1} = \frac{4}{3}.$$

Supposons enfin que le *mi* fasse, avec le *la*, + 2 battements au n° 54, et que le *si* fasse, avec le *mi*, — 4 battements au n° 53,8. On aura d'abord

$$m : n : p :: \text{LA} : mi_1 : si_1 :: 16 : 12 : 9;$$

d'où

$$\alpha = 4 \quad \text{et} \quad \beta = 3,$$

puis

$$\text{B} = 2.54 = 108,$$

et

$$\text{B}' = -4.53,73 = -214,92;$$

d'où, tout calcul fait,

$$\varepsilon = -33,48, \text{ et } \frac{\varepsilon}{30} = -1,116 \text{ vibrations.}$$

Deuxième exemple.

$$m : n : p :: \text{LA} : fa_2 : si_1^b :: 15 : 6 : 8;$$

$$\alpha = 3, \quad \beta = 2.$$

Supposons

$$\text{B} = -2.80 = -160, \quad \text{B}' = -2.78,61 = -157,22;$$

d'où

$$\varepsilon = -95,07, \quad \text{et} \quad \frac{\varepsilon}{30} = -3,169.$$

Troisième exemple.

$$m : n : p :: \text{LA} : fa_2 : ut_1 :: 5 : 2 : 3;$$

$$\alpha = 1, \quad \beta = 1.$$

Digitized by Google

$$B = -2.80 = -160, \quad B' = -3.62,98 = -188,94;$$

$$\varepsilon = -142,47, \quad \frac{\varepsilon}{30} = -4,749.$$

Quatrième exemple.

$$m : n : p :: LA : fa_2 : la_1 :: 10 : 4 : 5;$$

$$\alpha = 2; \quad \beta = 1.$$

$$B = -2.80 = -160, \quad B' = +2,80;$$

$$\varepsilon = 0.$$

La même question peut être résolue, d'abord pour deux tuyaux intermédiaires au lieu d'un seul, et ensuite généralement.

Soit d'abord $m : m' : m'' : m'''$; α, β, γ étant les plus grands communs diviseurs entre les couples de nombres respectifs m et m', m' et m'', m'' et m'''; puis B, B', B'', les produits des nombres de battements faits par les couples de tuyaux correspondants, multipliés par les degrés respectifs du métronome. Formons le produit

$$\frac{mk}{m'k + \frac{B\alpha}{m}} \times \frac{m'k + \frac{B\alpha}{m}}{m''k + \frac{m'''B\alpha}{mm'} + \frac{B'\beta}{m'}} \times \frac{m''k + \frac{m''B\alpha}{mm'} + \frac{B'\beta}{m'}}{m'''k + \frac{m'''B\alpha}{mm'} + \frac{m'''B'\beta}{m'm''} + \frac{B''\gamma}{m''}}.$$

Il est facile de voir que l'altération ε du tuyau m''' sera représentée, en nombre de pulsations par minute, par le dernier dénominateur diminué du terme $m'''k$, lequel peut se mettre sous la forme (1) :

$$m'''\left(\frac{B\alpha}{mm'} + \frac{B'\beta}{m'm''} + \frac{B''\gamma}{m''m'''}\right);$$

et pour $(h + 1)$ tuyaux, ce serait évidemment

$$m^{(h)}\left(\frac{B\alpha}{mm'} + \frac{B'\beta}{m'm''} + \frac{B''\gamma}{m''m'''} + \cdots \frac{B^{(h-1)}\omega}{m^{(h-1)}m^{(h)}}\right).$$

(1) Observons que les facteurs α, β, γ entrent au carré respectivement dans les produits mm', $m'm''$, $m''m'''$, etc.

Digitized by Google

On voit d'ailleurs que cette *altération* est *indépendante du diapason*, et ne dépend que des battements.

Au lieu de faire servir les formules précédentes à déterminer l'altération du dernier son (ou de tout autre) au moyen des battements, on pourrait les employer à déterminer le nombre de battements que doivent faire les deux derniers (ou deux autres quelconques), pour que le dernier son (ou tout autre) éprouve une altération donnée.

Soit, pour le cas de quatre tuyaux :

Premier exemple.

$$m \,.\, m' : m'' : m''' :: \text{LA} : fa_2 : si_1^b : mi_1^b :: 45 : 18 : 24 : 32;$$

$$\alpha = 9, \quad \beta = 6, \quad \gamma = 8;$$

$$B = -2.80 = -160, \quad B' = -4.60 = -240,$$

$$B'' = +3.57{,}81 = +173{,}43.$$

$$\frac{B}{\frac{1}{\alpha} mm'} = -\frac{160}{90} = -\frac{16}{9} = -1{,}778$$

$$\frac{B'}{\frac{1}{\beta} m'm''} = -\frac{240}{72} = -\frac{10}{3} = -3{,}333$$

$$\frac{B''}{\frac{1}{\gamma} m''m'''} = +\frac{173{,}43}{96} \ldots = +1{,}807$$

Somme.... $-3{,}306$

$$\varepsilon = -3{,}306 \times 32 = -105{,}792, \quad \frac{\varepsilon}{30} = -3{,}5264.$$

Cet exemple est celui de l'accord du mi_1^b tempéré au diapason normal, au moyen des deux tuyaux auxiliaires fa_2 et si_1^b.

(Si le diapason venait à changer, il faudrait augmenter B″ de $-3.0{,}1202.d$, ce qui revient, sur le résultat, à $\frac{-3.0{,}1202}{96} \cdot \frac{32}{30} d = -0{,}0040.d.$)

Digitized by Google

Deuxième exemple.

$$m : m' : m'' : m''' :: \text{LA} : la_1 : ré_1 : sol_1 :: 18 : 9 : 12 : 16;$$

$$\alpha = 9, \quad \beta = 3, \quad \gamma = 4;$$

$$B = +2.80 = +160, \quad B' = -4.65,09 = -260,36,$$

$$B'' = +79,74.$$

$$\frac{B\alpha}{mm'} = +\frac{80,09}{9} = +8,889$$

$$\frac{B'\beta}{m'm''} = -\frac{65,09}{9} = -7,232$$

$$\frac{B''\gamma}{m'm''} = +\frac{3,32}{2} = +1,660$$

Somme.... $+3,317$

$$\varepsilon = +3,317 \times 16 = -105,760,$$

$$\frac{\varepsilon}{30} = +1,769.$$

[Si le diapason différait, il y aurait lieu d'augmenter B′ de $4.0,0169.d$ et B″ de $0,0900\,d$, parce qu'ici la_1 est seul auxiliaire; il s'ensuivrait, sur le résultat, une augmentation de $\left(\frac{4.0,0169}{36}d + \frac{0,0900}{48}d\right)\frac{16}{30} = 0,0020.d.$]

Troisième exemple.

$$m' : m'' : m''' :: \text{LA} : la_1 : ut^{*1} : sol_1^* :: 16 : 8 : 20 : 15;$$

$$\alpha = 8, \ \beta = 4, \ \gamma = 5;$$

$$B = +2.80, \quad B' = +2.61,92, \quad B'' = -2.56,34.$$

$$\frac{B\alpha}{mm'} = +\frac{2.80}{16} \ldots = 10$$

$$\frac{B'\beta}{m'm''} = +\frac{2.61,92}{2.20} = 3,096$$

$$\frac{B''\gamma}{m''m'''} = -\frac{2.56,34}{4.15} = -1,878$$

Somme .. $+11,218$

$$\frac{\varepsilon}{30} = 11,218 \times \frac{15}{30} = 5,609,$$

Digitized by Google

Correction relative au diapason : Il faut augmenter B′ de $2.0,2976.d$, et B″ de $-2.0,0634.d$, ce qui donne

$$2\frac{15}{30}\left(\frac{0,2976}{40}-\frac{0,0634}{4.15}\right)d=\frac{1}{20}(0,1488-0,0211)\,d$$

$$=\frac{1}{20}(0,1277)\,d=0,0064.d.$$

§ VI. — *Évaluation d'un son donné. — Détermination du son fixe. — Tonomètre.*

Une application importante des formules précédentes est celle-ci :

Déterminer, par le moyen des battements, le nombre absolu de vibrations ou de pulsations qui appartient à un son donné.

L'application de cette question se présentera toutes les fois que l'altération totale du dernier tuyau, représentée par

$$\varepsilon=m^{(h)}\left(\frac{B\alpha}{mm}\ldots+\frac{B^{(h-1)}\omega}{m^{(h-1)}n^{(h)}}\right),$$

sera assez considérable pour que la fraction $\frac{mk}{m^{(h)}k+\varepsilon}$ représente exactement, ou seulement approche de représenter, une consonnance différente de $\frac{m}{m^{(h)}}$: comme si, par exemple, on a

$$\frac{mk}{m^{(h)}k+\varepsilon}=\frac{mk}{Mk+\varepsilon'},$$

$\frac{m}{M}$ représentant une consonnance, et ε' tombant dans des limites qui traduisent cette altération de la consonnance par des battements appréciables. En effet, on aura alors

$$m^{(h)}k+\varepsilon=Mk+\varepsilon',$$

d'où

$$k=\frac{\varepsilon-\varepsilon'}{M-m^{(h)}}.$$

Par exemple, soient A, B, C, D, E les nombres respec-

Digitized by Google

tifs de pulsations de cinq tuyaux successifs et ascendants, assez voisins les uns des autres pour que les plus rapprochés, deux à deux, puissent être considérés comme voisins de l'unisson en produisant les battements suivants, savoir :

	A et B...	4 battements au n° 66
	B et C...	*id*..... 70
	C et D...	*id*..... 74
enfin	D et E...	*id*..... 65
	Somme totale.....	275

Il en résulte que le son E aura de plus que le son A, $275 \times 4 = 1100$ pulsations par minute, puisque le son B en a 66×4 de plus que le son A, le son C, 70×4 de plus que le son B, etc.

Maintenant, supposons que les sons extrêmes A et E, comparés entre eux, soient reconnus comme étant en consonnance exacte de tierce majeure; on aura donc

$$\frac{M}{m} = \frac{5}{4},$$

d'où

$$M = 5, \quad m = m' = m'' \ldots = 4 \text{ (unisson approximatif continu)},$$

$$\varepsilon = 1100, \ \varepsilon' = 0,$$

et enfin

$$k = \frac{1100}{5-4} = 1100.$$

Ainsi, $A = mk = 4.1100 = 4400$ pulsations par minute.

Ce son, comparé au diapason normal de 440 pulsations par seconde ou de 26400 par minute, est à ce dernier dans le rapport de 44 à 264, ou de 1 à 6 : c'est donc le *ré*$_3$.

Si le son E, au lieu d'être en consonnance exacte de tierce majeure avec le son A, eût fait avec lui, par exemple, $+z$ battements au n° x, cela eût indiqué un excès de $4zx$ pulsations sur la tierce majeure; et il eût fallu commencer par retrancher cet excès, de la somme calculée.

Digitized by Google

Par le procédé qui vient d'être exposé, on peut

Déterminer le nombre exact de vibrations d'un LA *ou diapason donné.*

Pour cela, il suffit d'échelonner, à partir de ce *la*, une suite de fourchettes assez rapprochées pour que, deux à deux, elles fassent des battements appréciables ; et si l'on en établit un nombre suffisant pour que les extrêmes soient à l'octave juste, le nombre de pulsations, calculé comme précédemment, dont la fourchette aiguë sera en excès sur la fourchette grave, sera précisément le nombre de pulsations de cette dernière.

C'est ainsi que Scheibler avait construit un *tonomètre* avec lequel on pouvait compter le nombre des vibrations de l'octave du LA au la_1. Il consistait en 52 fourchettes, parmi lesquelles se trouvait une échelle de tempérament égal, et une autre où chaque ton était de 4 battements ou de 4 pulsations par seconde, plus bas que le ton correspondant de l'échelle précédente; et cette dernière servait à régler l'autre.

Par exemple, la fourchette la plus grave, sonnant la_1, octave de la plus aiguë ou du LA diapason, faisait avec la fourchette intermédiaire la plus voisine, à l'aigu, de ce la_1,

4 battements au numéro.....	60
Ensuite, cette première fourchette intermédiaire faisait avec la suivante, toujours en montant, 4 battements au numéro.....	75,8
Enfin, de cette dernière, dite *auxiliaire*, au si^b_1, il y avait encore 4 battements au numéro.....	60
Total.....	195,8
dont le *quinzième*	13,05

indique que le si^b_1 faisait 13,05 pulsations par seconde, de plus que le la_1. Opérant de même dans toute l'étendue du la_1 au LA, Scheibler trouvait pour somme de tous les numéros compris, 3295, dont le *quinzième*, 219 $\frac{2}{3}$, indi-

Digitized by Google

quait l'excès du nombre des pulsations du LA sur le la_1, et, par suite, la hauteur absolue de celui-ci.

M. Wolfel a imité ce tonomètre; mais, dans le sien, les fourchettes croissent de 4 battements en 4 battements au n° 60 ou par seconde. Le nombre total en est de 57, dont les 56 premières suivent la loi que je viens d'indiquer, ce qui fait $55 \times 4 = 220$ pulsations. Mais la cinquante-septième et dernière fait avec la cinquante-sixième, comme celle-ci fait avec la première, 2 battements au n° 49, ce qui indique, d'une part, que la cinquante-septième fourchette est à l'octave aiguë de la première, et, secondement, qu'elle fait de plus qu'elle, par minute,

$$4.60.55 + 2.49 = 2(6649) \text{ pulsations},$$

et, par conséquent,

$$\frac{1}{15} 6649 = 443 \tfrac{4}{15} \text{ vibrations par seconde.}$$

Ce nombre est en même temps le ton de la première fourchette; et le double, ou $886 \frac{8}{15}$, le ton de la cinquante-septième et plus aiguë. Celle-ci a été donnée à M. Wolfel, en 1834, par Savart, comme représentant le diapason de l'Opéra (1); elle est de $6 \frac{8}{15}$ vibrations plus élevée que le LA diapason normal d'Allemagne, tel qu'il a été adopté au Congrès scientifique tenu à Stuttgard dans cette même année 1834. Cependant un autre diapason, remis par M. Petitbout à Scheibler lui-même comme étant celui de l'Académie de Musique, n'a été évalué par ce dernier, qu'à 867,5 vibrations, ce qui fait, sensiblement, 19 vibrations de moins.

Quoi qu'il en soit, la solution de la question précédente mène immédiatement à la *détermination d'un son fixe*, c'est-à-dire à la solution de cette autre question :

Produire un son d'un nombre donné de vibrations.

En effet, étant donnée une fourchette qui fasse *à peu*

(1) Il est vraisemblable qu'il s'agit de l'Opéra italien.

Digitized by Google

près le nombre de vibrations voulu, on pourra d'abord, par la question précédente, construire une seconde fourchette qui soit à l'octave juste de la première, et déterminer exactement le nombre de vibrations de l'une et de l'autre, ainsi que le nombre de vibrations dont la fourchette donnée est en erreur. Cela fait, on n'aura pas de peine à accorder, par les battements, une fourchette qui ait de moins ou de plus, ce nombre de vibrations dont la fourchette proposée est en excès ou en défaut, ce qui résout la question.

Enfin, par l'emploi des mêmes procédés, on peut encore résoudre cet autre problème :

Fixer dans l'étendue d'une octave une série quelconque de sons déterminés.

Que cette série doive faire entendre d'ailleurs, soit les intervalles diatoniques justes, soit des intervalles chromatiques, enharmoniques, dans tel tempérament que l'on voudra, peu importe. Il ne s'agit que de connaître d'avance les nombres de pulsations qui appartiennent aux divers sons que l'on se propose d'intercaler, et par conséquent leurs distances aux sons déjà réalisés, distances qu'il faut alors calculer et exprimer en nombre de pulsations ou de vibrations, de manière à les obtenir exactement au moyen des battements.

§ VII. — *Accord de l'orgue par les battements et le métronome, pour le cas du diapason normal.*

Bien que la méthode d'accorder par unisson, d'après des fourchettes données, soit beaucoup plus exacte que la méthode usitée, cependant la méthode d'accorder par des fourchettes auxiliaires respectivement plus basses que les sons vrais, d'un nombre de battements connu, est incomparablement plus exacte encore; car, par celle-ci, on obtient toujours mathématiquement la même échelle quand les fourchettes sont correctement graduées; et quand elles ne le sont pas, les mêmes principes servent à les corriger.

Digitized by Google

Il suffit même d'avoir six fourchettes qui sonnent les tons..... *si* | *ut** | *ré** | *fa* | *sol* | *la* |

dont il est très-utile cependant d'avoir aussi les octaves; quant aux six autres tons, faisant quinte des deux côtés, savoir..... *fa** *sol** *si*♭ *ut* *ré* *mi*

on les intercale ensuite facilement entre les premiers.

On le voit, l'idée fondamentale de Scheibler est celle-ci : que l'œil, discernant de simples mouvements du pendule, conduit à des résultats d'une justesse que l'oreille la plus délicate n'obtiendrait jamais par la simple sensation de l'unisson ou d'une consonnance quelconque. D'où il résulte qu'avec l'oreille la plus fausse on peut néanmoins parvenir, dans l'accord des instruments, à un degré de précision incomparablement supérieur aux résultats les plus exacts que l'on ait pu obtenir par les méthodes usitées jusqu'ici. Et en effet, on a vu des musiciens très-exercés ne pouvoir reconnaître aucune différence entre deux sons rendus par des fourchettes d'acier, et les accepter en conséquence comme donnant un unisson parfait, tandis que Scheibler, au moyen des battements, prouvait qu'il y avait une différence entre les sons donnés, évaluait cette différence en vibrations et fractions de vibrations, et la faisait disparaître à volonté. Mais laissons l'auteur parler lui-même :

« Personne, dit-il, n'a encore réussi à accorder à l'unis-
» son parfait 12 cordes de harpe éolienne, en accordant
» la deuxième sur la première, la troisième sur la deuxième,
» et ainsi de suite jusqu'à la douzième d'après l'onzième (1).
» Et cependant il est bien autrement difficile de tempérer
» un ton (en l'accordant par consonnance avec un autre)
» que de l'accorder à l'unisson. »

« Dans ma méthode, continue-t-il, rien n'est confié à

(1) Ce début ressemble d'une manière remarquable à celui du Traité du *Canon harmonique* de Bacchius l'Ancien (*voyez* les *Notices et extraits des manuscrits*, etc., tome XVI, 2e partie, page 66).

Digitized by Google

» l'oreille musicale; c'est l'œil qui compare les mouve-
» ments du pendule avec les battements que l'on compte;
» et il faudrait être négligent au delà de toute expression,
» pour que, muni d'un bon métronome, on se trompât d'un
» huitième à un quart de vibration sur quelques demi-
» tons; et encore cela n'influerait-il en rien sur les autres
» tons de l'échelle, qui tous dérivent directement du LA.
» D'ailleurs même, un ton auxiliaire est bien plus sûr
» qu'un unisson (1); et pour avoir un *la* vérifié, je le fais
» sur un *ré* auxiliaire avec lequel il doit faire des battements
» en nombre donné. Je ne regarde donc pas les tons auxi-
» liaires comme des déductions. — Pour faire un diapa-
» son quelconque, dit-il ailleurs, il faut le faire d'après
» les battements si l'on veut qu'il soit exact. »

« Aussi M. Spohr, maître de chapelle de l'électeur de
» Hesse-Cassel, non moins célèbre comme virtuose sur le
» violon, que comme compositeur, après avoir examiné
» très-scrupuleusement un forté-piano et un des orgues
» d'église de cette ville, tempérés d'après mes procédés, a
» trouvé ce tempérament si juste, qu'il a craint que l'on
» ne voulût plus entendre de musique d'orchestre, si l'on
» avait souvent occasion d'entendre de la musique exécutée
» sur des instruments accordés avec une telle précision.

» La méthode d'accorder par les battements, outre son
» exactitude, présente encore cet avantage, qu'en tout
» temps on peut faire une révision sur des données posi-
» tives et corriger les différences survenues, sans toucher
» aux tons qui n'ont point changé.

» Pour accorder l'*orgue*, les tons auxiliaires *fa* et *la*

(1) Dans la méthode ordinaire, l'octave est plus difficile à accorder que l'unisson, la quinte que l'octave, la quarte que la quinte, etc. Ici, c'est tout le contraire. En effet, tandis qu'une pulsation d'erreur produit 1 seul battement sur l'unisson, elle en produit, par exemple, 4 sur une tierce majeure à l'aigu, et 5 sur une tierce majeure au grave; et ainsi des autres consonnances.

Digitized by Google

» suffiraient à la rigueur ; mais, pour les commençants, il » est bon d'employer aussi un *mi* et un *si* auxiliaire. »

Tout ceci étant bien établi, il est bon encore, avant d'entreprendre la question de l'accord de l'orgue pour le tempérament égal, de commencer, pour nous familiariser avec l'emploi de la formule du § IV,

$$X = \left(B - \frac{m}{n} A\right) \frac{n}{2} \frac{60}{N},$$

de voir comment il faudrait s'y prendre pour opérer l'accord conformément aux rapports exacts des consonnances, ou, en d'autres termes, suivant la gamme géométrique juste.

Supposons, comme nous venons de le dire, que l'on ait établi quatre tuyaux auxiliaires, mi_1, la_1, fa_2, si^b_1, pour servir de base aux différentes opérations.

Dans la détermination de ces quatre tuyaux, c'est B qui est l'inconnue ; X est le numéro du métronome : on se le donne à priori arbitrairement, quoique dans certaines limites ; et si l'on veut avoir B, on le détermine par la formule

$$B = \frac{m}{n} A + \frac{X}{\frac{n}{2} \cdot \frac{60}{N}},$$

ou, en faisant constamment $N = 4$,

$$B = \frac{m}{n} A + \frac{2X}{15n}.$$

Ainsi, en accordant les notes mi_1, la_1, fa_2, sur le LA supposé de 880 vibrations, et faisant

pour le $mi_1 \ldots X = -40$,
$la_1 \ldots\ldots\ldots -20$,
$fa_2 \ldots\ldots\ldots -60$,

(le signe — indiquant qu'il faut baisser le tuyau auxiliaire

Digitized by Google

au-dessous de sa valeur consonnante), on aura, pour le

mi_1, $m=3$, $n=4$, $A=880$, d'où $B=\frac{3}{4}880-\frac{2.40}{15.4}=658\frac{2}{3}$;

la_1, $m=1$, $n=2$, ... $B=\frac{1}{2}880-\frac{2.20}{15.2}=438\frac{2}{3}$;

fa_2, $m=2$, $n=5$ ..... $B=\frac{2}{5}880-\frac{2.60}{15.5}=350\frac{2}{5}$.

Pour le si^b_1, on l'accorde sur le $ré_1$ qui vaut, comme quarte aiguë du la_1, $586\frac{2}{3}$ vibrations, en lui faisant faire avec ce la_1, 4 battements au n° 50, *en moins;* ce qui donne

$$A=586\frac{2}{3},\quad m=4,\quad n=5,\quad N=4,\quad X=-50,$$

d'où

$$B=\frac{4}{5}.586\frac{2}{3}-\frac{2.50}{15.5}=468.$$

Mais, comme il est facile de le voir, les valeurs de A et de B sont inutiles à connaître, et l'opération est indépendante du diapason. En effet, les quatre tuyaux auxiliaires étant déjà eux-mêmes fixés par les battements, pour accorder les tons définitifs, il faut reprendre la formule sous la forme

$$X=\left(B-\frac{m}{n}A\right)\frac{n}{2}\frac{60}{N},$$

et observer qu'en appelant J le tuyau juste correspondant au tuyau auxiliaire sur lequel il doit être accordé, et qui est ici représenté par A, on a

$$B=\frac{m}{n}J,$$

d'où, simplement,

$$X=(J-A)\frac{15m}{2}.$$

Mais (J — A) est connu d'après le nombre de battements sur lequel on accorde A, et cela indépendamment de A et de J, et même du diapason : car cette différence est représentée par le terme $\frac{2X}{15n}$ de la formule précédente, appli-

Digitized by Google

quée au tuyau auxiliaire. Désignons par $\frac{2X_1}{15n_1}$ cette valeur spéciale du terme, et nous aurons

$$X = \frac{X_1}{n_1} m.$$

De là nous pouvons former le tableau suivant, applicable à tous les diapasons. (*Voyez* le tableau n° VII.)

Ce tableau peut aussi se vérifier d'après la formule du § V, quatrième question, savoir

$$n\beta B - m\gamma B' = 0.$$

Par exemple, pour l'accord du sol^*_1 d'après mi_1, on a

$$m = 16, \quad \beta = 4, \quad p = 12, \quad \gamma = 3, \quad n = 15;$$
$$B = X_1 = 40, \qquad B' = X = 50;$$
$$40 \times 4 : 16 = 50 \times 3 : 15.$$

(On pourrait aussi se servir de cette même formule pour déterminer $B' = \frac{n\beta}{m\gamma} B$.)

Passons maintenant à la question de l'accord dans le cas de la gamme tempérée, en supposant le LA ou diapason donné, de 880 vibrations par exemple, ou de 440 pulsations, ou enfin, pour parler comme l'auteur, de 6600 degrés, ce LA étant considéré comme diapason normal.

Pour cela, il faut recourir aux tableaux n°s IV, V et VI, dont nous avons déjà expliqué la composition au § IV, sixième question, remarques deuxième, troisième et quatrième.

Seulement, nous devons mentionner ici les additions que nous avons faites aux deux derniers tableaux, des nombres de vibrations qu'il faut attribuer aux quatre tons auxiliaires, ainsi que leurs différences avec les tons calculés justes d'après les consonnances, différences qui doivent être, pour chaque note, indépendantes du diapason. Au reste, la simple vue des tableaux explique suffisamment

Digitized by Google

cette addition, ainsi que quelques autres qu'ils contiennent encore.

Maintenant, avec ces données, voici la manière d'opérer. Supposons qu'il s'agisse d'accorder sur le LA = 880, le mi_1 au-dessous (tableau n° VIII, troisième opération). Le mi_1 juste aurait $880 \times \frac{3}{4} = 660$ vibrations; tempéré, il n'en a que 659, 255; différence : 0,745. Comme ce sont des vibrations et non des pulsations, et qu'il s'agit de la corde grave de la quarte, il faut multiplier par 2, ce qui donne 1,49 au n° 60, que l'on réduit à 1 battement au n° 89,40 (ou 2 battements au n° 44,70) en multipliant 1,49 par 60.

Il faut d'ailleurs savoir que ce battement doit s'obtenir en baissant la corde, parce que la quarte tempérée est plus étendue que la quarte juste.

A ce propos, il n'est pas inutile de rappeler ici que les altérations dont on affecte les intervalles géométriques provoquent les mêmes battements, soit qu'elles aient lieu en plus ou en moins; et il faut toujours savoir d'avance dans quel sens on doit opérer, ce que d'ailleurs les tableaux indiquent par les signes + et —.

Mais il s'en faut que l'opération à exécuter soit toujours aussi simple que la précédente : il arrive le plus souvent que la note à accorder ne fait, avec le LA, de battements comptables à aucun des numéros du pendule.

Dans cette hypothèse, il faut accorder, sur le diapason, un *son auxiliaire* qui fasse avec lui des battements comptables à un certain degré du pendule, et qui, par réciprocité, puisse conduire de même, par des battements comptables, aux divers sons de l'échelle tempérée qu'il s'agit d'établir. Voici, dès lors, la règle à suivre.

Conformément à la méthode exposée au § V, soient A le nombre de vibrations du tuyau fondamental; $\frac{m}{n}$ le rapport de la consonnance juste qui correspondrait au son qu'il s'agit d'accorder avec le premier, *sauf le tempérament;*

Digitized by Google

B le nombre de vibrations du second son, conforme au tempérament, ou bien le nombre de vibrations calculées s'il s'agit d'un tuyau auxiliaire; N le nombre de battements (de 1 à 4) le plus facile à compter, tout en donnant un quotient $\frac{60}{N}$ qui ne sorte pas des limites du métronome; enfin, soit X le numéro du métronome: on aura

$$X = \left(B - \frac{m}{n} A\right) \frac{n}{2} \cdot \frac{60}{N}.$$

Ici, il faut bien faire attention au signe de la différence $\left(B - \frac{m}{n} A\right)$, afin de faire *descendre* ou *monter* le tuyau B suivant que cette différence sera *positive* ou *négative*, mais *après avoir commencé par l'accorder juste* : cette observation est très-importante pour la pratique, si l'on ne veut s'exposer à se tromper.

Au moyen de cette formule, en suivant la marche indiquée au tableau n° VIII, la partition de l'orgue comprend *dix-sept* opérations successives qui, toutes, se réduisent à amener un tuyau B à faire, avec un tuyau A, N battements pendant une oscillation du métronome monté au n° X.

§ VIII. — *Accord de l'orgue sur un diapason connu quelconque.*

On pourrait dresser un tableau semblable pour tout diapason donné, différent du diapason normal de 880 vibrations. Mais on peut, en généralisant les principes de la méthode, ramener tous les cas à celui que nous venons de traiter.

Pour cela, il y a d'abord quelques remarques à faire :

1°. Quel que soit le diapason, le nombre que nous avons appelé N est invariable;

2°. Il en est de même des nombres m et n;

3°. Le nombre X doit rester invariable pour les tuyaux auxiliaires *mi*, *la*, *fa*, *si*^{b}, opérations 1re, 4e, 11e et 12e;

4°. Il en est de même pour l'accord du *la*$_1$ grave (17e opération);

Digitized by Google

5°. Dans les cas où aucun des deux tuyaux n'est un auxiliaire, c'est-à-dire dans les opérations 3e, 8e et 10e, le nombre X doit être proportionnel au diapason;

6°. Enfin, pour le cas plus général où l'on accorde un tuyau tempéré au moyen d'un tuyau auxiliaire, il faut, conformément à ce que l'on a dit au § IV, considérer que le nombre A des vibrations du tuyau auxiliaire se compose de deux parties : l'une a, valeur géométrique, en consonnance exacte, qui varie avec le diapason; l'autre ε, constante, d'où dépendent les battements.

On a donc, conformément à la formule du paragraphe cité,

$$X = \left[B - \frac{m}{n}(a + \varepsilon)\right] \frac{n}{2} \frac{60}{N};$$

puis, en passant au diapason $D' = D + d$,

$$X' = X + \left(X + \varepsilon \frac{m}{2} \frac{60}{N}\right) \frac{d}{D}.$$

Sur quoi il ne faut pas oublier que X et X' sont essentiellement positifs pour les tuyaux qui doivent être élevés au-dessus de la consonnance, et négatifs pour ceux qui doivent être abaissés; ensuite, quant à ε, qu'il est positif pour le *mi* et le *la* auxiliaire, et négatif pour le *fa* et le *si*^{b}. En effet, on a :

1re op. $mi = 880 \times \frac{3}{4} = 660$	$\varepsilon = 660,90 - 660 = +0,90$
4e... $la = 880 \times \frac{1}{2} = 440$	$\varepsilon = 442,669 - 440 = +2,667$
11e... $fa = 880 \times \frac{2}{5} = 352$	$\varepsilon = 350,933 - 352 = -1,067$
12e... $si^b = 880 \times \frac{8}{15} = 469,333$	$\varepsilon = 465,244 - 469,333 = -4,089$

En tenant compte de tout cela, on a le tableau suivant, dans lequel je fais entrer les trois cas de proportionnalité (op. 3e, 8e et 10e), dont les formules sont faciles à établir.

(Il y a *une* et même *deux* décimales de plus qu'il n'en faut rigoureusement; après la multiplication par d, l'on n'en gardera qu'une.)

Digitized by Google

X.

si .... opération	2e	$-X' = 53,73 + 0,0380\,d$,
mi.....	3e	$-X' = 89,40 + 0,1016\,d$,
*ut**.....	5e	$+X' = 61,92 + 0,2977\,d$,
ré.....	6e	$-X' = 65,09 - 0,0170\,d$,
*fa**.....	7e	$+X' = 66,33 + 0,2269\,d$,
sol.....	8e	$+X' = 79,74 + 0,0906\,d$,
*ut**.....	9e	$+X' = 61,92 + 0,2977\,d$,
*sol**	10e	$-X' = 56,34 + 0,0640\,d$,
mi b.....	13e	$+X' = 57,81 - 0,1202\,d$,
si b.....	14e	$-X' = 78,61 + 0,1621\,d$,
ut.....	15e	$-X' = 62,98 + 0,1079\,d$,
fa.....	16e	$-X' = 51,16 + 0,0945\,d$.

Au lieu de ces formules de correction, Scheibler emploie un tableau disposé pour 9 diapasons, croissant de 10 en 10 vibrations, entre les extrêmes de 840 et 920. (*Voir* le tableau n° IX.)

Il est facile de déduire ce tableau de nos formules même. Et de plus, si l'on voulait adopter pour principal, tout autre diapason que celui de 880 vibrations, celui de M. Wolfel par exemple, qui en fait 886 $\frac{8}{16}$, on n'aurait qu'à faire $d = 6\frac{8}{16}$, et ajouter le résultat à la colonne X, le second terme subsistant pour se prêter aux variations accidentelles que pourrait subir ce nouveau diapason considéré comme principal.

D'après la formule

$$B = \frac{m}{n} A + \frac{NX}{30n},$$

on voit que si l'on prenait le nombre X, correspondant au diapason normal de 880 vibrations, au lieu du nombre X′, il en résulterait dans la valeur de B, du moins pour les cas ordinaires, une erreur marquée par $\frac{N}{30n}(X' - X)$.

Digitized by Google

Mais ceci suppose que le tuyau B est accordé au moyen d'un seul auxiliaire, ce qui n'est plus le cas de ces quatre notes, savoir : le *mi*, le *mi*^{b}, le *sol* et le *sol**. Cependant, pour le *mi* et le *mi*^{b}, on peut encore s'en tenir à la méthode générale : pour le premier parce qu'il dérive immédiatement du diapason, et pour le second parce qu'il ne dérive que de tuyaux auxiliaires (*voyez* plus haut, § V, le premier exemple de 4 tuyaux). Quant aux deux autres, nous les avons traités dans les exemples deuxième et troisième. Cela étant bien entendu, on peut former le tableau suivant, dans lequel nous mettrons en regard de nos résultats les nombres donnés par Scheibler. Il y a quelques discordances, dont la plus grande est de 0,23 de vibration. Malgré le peu d'importance de cette fraction, je crois que l'on peut en excuser Scheibler (en admettant toutefois, comme je le pense, que l'erreur soit de son côté), d'après cette considération, que les nombres dont il s'agit ici, par cela même qu'ils représentent des erreurs possibles, ne sont point de ceux que l'inventeur ait dû avoir l'occasion de vérifier. Et en effet, pour les nombres qui entraient dans sa pratique, ils sont d'une justesse vraiment prodigieuse, et que l'on ne saura manquer de trouver telle si l'on observe que cet ingénieux observateur ignorait l'emploi des logarithmes; ou plutôt, on peut dire qu'il a découvert pratiquement les logarithmes, car on en construirait une Table d'après ses résultats (1).

---

(1) Si ce n'eût été m'écarter beaucoup de mon but, j'aurais développé un autre résultat extrêmement important que je ne puis faire ici qu'indiquer, mais qui n'en mérite pas moins la plus grande attention, savoir :

La méthode de Scheibler pour l'accord des instruments confirme d'une manière éclatante, bien que par une voie détournée, les valeurs des rapports des consonnances exactes, par suite celles des tons majeurs, mineurs, demi-tons, et enfin les valeurs relatives des diverses notes de la gamme géométrique non tempérée, telles qu'elles sont généralement admises. (Voyez à ce sujet les expériences de M. Delezenne, dans les *Mémoires de la Société de Lille*, pour l'année 1827, ainsi que les additions qu'il y a faites récemment.)

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, voici le tableau des erreurs que l'on est exposé à commettre en négligeant de tenir compte de la variété des diapasons. (*Voyez* le tableau n° X.)

On voit que le produit par 40, que l'on peut considérer comme maximum de l'erreur, ne s'élève nulle part à *un tiers* de vibration. Et certes, dit Scheibler, on serait tenté d'accorder toujours d'après le nombre de battements qui correspond au diapason normal, « si l'on ne pouvait se » donner la satisfaction de faire encore mieux. »

On arrive aux mêmes résultats par une autre voie, savoir, en y employant les formules du § V.

En effet, si l'on nomme Δ le nombre de vibrations dont la note tempérée que l'on veut accorder surpasse la note consonnante (tableau n° VI), on aura, d'après le paragraphe cité,

$$n\left(\frac{B}{\frac{1}{\alpha}mp}+\frac{B'}{\frac{1}{\beta}pn}\right)=30\,\Delta.$$

Ainsi, B étant le nombre de battements par minute du tuyau fondamental m avec l'auxilaire p, et B′ le nombre de battements de ce dernier avec le tuyau à accorder n, on peut, au moyen de cette formule, soit, après s'être donné B et B′ arbitrairement, en déduire Δ, soit, en se donnant B arbitrairement et déterminant Δ d'après les conditions du tempérament, en déduire le nombre de battements B′ que le tuyau à accorder doit faire avec l'auxiliaire pour avoir le ton voulu.

Maintenant, comme Δ dépend du diapason, auquel il est proportionnel, si l'on conserve fixe le nombre B′, il faudra que B varie. Ainsi, soient D le diapason normal, D′ un autre diapason égal à $D+d$, et B'_1 la valeur nouvelle de B′; il en résultera

$$n\left(\frac{B}{\frac{1}{\alpha}mp}+\frac{B'_1}{\frac{1}{\beta}pn}\right)=30\,\Delta\,\frac{D'}{D},$$

Digitized by Google

d'où

$$n\left(\frac{B'_1 - B'}{\frac{1}{\beta}pn}\right) = 30\,\Delta\,\frac{d}{D}, \quad \text{ou} \quad B'_1 - B' = 30\,\frac{p}{\beta}\,\Delta\,\frac{d}{D},$$

Δ appartenant alors fixement au diapason normal, et devant être constamment pris dans le tableau n° VI.

On peut remarquer, en outre, que $\frac{p}{\beta}$ n'est autre chose que le numérateur du rapport $\frac{p}{n}$ supposé réduit à sa plus simple expression ; et cela étant bien entendu, on peut écrire simplement, pour cette hypothèse,

$$B'_1 - B' = 30\,p\,\Delta\,\frac{d}{D}.$$

Enfin, soient X et X_1 les numéros du métronome auxquels ont lieu les N battements pour chaque oscillation du pendule, de manière à produire les nombres de degrés considérés, savoir :

$$B' = NX \quad \text{et} \quad B'_1 = NX_1;$$

on aura définitivement

$$X_1 - X = \frac{30p}{N}\,\Delta\,\frac{d}{D}.$$

Exemple. — Pour le *si*, $p = 4$, $N = 4$, $\Delta = -1,116$:

$$X_1 - X = -33,48\,\frac{d}{D},$$

ou, en mettant pour $\frac{1}{D} = \frac{1}{880}$ sa valeur 0,00113636 (§ IV),

$$X_1 - X = -0,0380\,d.$$

Cette méthode est indépendante du nombre des tuyaux *auxiliaires* employés ; elle n'exige que la considération des deux derniers. Ainsi elle est applicable au mi^b_1, auquel on arrive en partant du LA et passant par le fa_2 et le si^b_1. On a pour cela

$$X_1 - X = \frac{-30.3}{3}\,3,525\,\frac{d}{D} = -105,75\,\frac{d}{D} = -0,1202.d.$$

Digitized by Google

On peut ainsi former le tableau suivant, dans lequel nous sommes obligé d'omettre les trois cas du *mi*, du *sol* et du *sol**, attendu que, dans l'accord de ces trois notes, on n'emploie aucun tuyau auxiliaire. On a donc, en définitive :

pour le *si*...	$X_1 - X =$	$-\ 0{,}0380\,d$,
*ut**.....		$+\ 0{,}2976\,d$,
ré.....		$+\ 0{,}0169\,d$,
*fa**.....		$+\ 0{,}2269\,d$,
*ut**.....		$+\ 0{,}2976\,d$,
mi^b.....		$-\ 0{,}1202\,d$,
si^b.....		$-\ 0{,}1621\,d$,
ut.....		$-\ 0{,}1079\,d$,
fa.....		$-\ 0{,}0945\,d$.

Donc, si l'on prenait l'une pour l'autre les quantités X_1 et X, il en résulterait : 1° dans les numéros du métronome, l'erreur $X_1 - X$; 2° dans le nombre des battements par minute, $(X_1 - X)\,N$; 3° dans le nombre de pulsations (pendant le même temps) du tuyau à accorder, l'erreur $(X_1 - X)\frac{N}{p}$; et 4° enfin, dans le nombre de vibrations par seconde, $(X_1 - X)\frac{N}{30\,p} = \Delta\frac{d}{D}$.

On peut ainsi former le tableau suivant, que nous compléterons en y joignant les trois cas du *mi*, du *sol* et du *sol**, pour lesquels il n'y a point ici de difficulté, puisque, pour ces trois notes, le nombre des vibrations croît proportionnellement au diapason. On a donc :

pour le *si*...	$\Delta =$	$-\ 1{,}116$...	$\frac{\Delta}{D}\,d = -\ 0{,}001268\,d$,
mi.....		$-\ 0{,}745$.....	$-\ 0{,}000847\,d$,
*ut**.....		$+\ 4{,}365$.....	$+\ 0{,}004960\,d$,
ré.....		$+\ 0{,}662$.....	$+\ 0{,}000752\,d$,
*fa**.....		$+\ 6{,}656$.....	$+\ 0{,}007564\,d$,
sol.....		$+\ 1{,}769$.....	$+\ 0{,}002010\,d$,
*ut**.....		$+\ 4{,}365$.....	$+\ 0{,}004960\,d$,
*sol**.....		$+\ 5{,}609$.....	$+\ 0{,}006374\,d$,
mi^b.....		$-\ 3{,}525$.....	$-\ 0{,}004006\,d$,
si^b.....		$-\ 3{,}169$.....	$-\ 0{,}003601\,d$,
ut.....		$-\ 4{,}749$.....	$-\ 0{,}005397\,d$,
fa.....		$-\ 5{,}544$.....	$-\ 0{,}006300\,d$.

Digitized by Google

Ces résultats étant identiques à ceux que l'on a obtenus par la première méthode, on peut maintenant compter sur leur exactitude.

On peut accorder *d'après l'octave normale,* par des battements, l'instrument tout entier (sauf 4 demi-tons).

Voici le tableau de l'accord complet pour le cas du LA de 880 vibrations. (*Voyez* le tableau n° XI.)

Le principe de formation de ce tableau est fort simple.

Pour accorder ut_3 d'après mi_1, observons qu'il s'agit d'un intervalle de *dix-septième*, représenté par le rapport de 5 : 1 en consonnance exacte; mais au diapason de 880 vibrations, mi_1 ayant 659,26 vibrations, ut_3 doit en avoir 130,81 d'après le tempérament, tandis qu'il en aurait 131,85 en consonnance exacte; différence : 1,04 vibrations ou 0,52 pulsations. Multipliant par 5, on a 2,6 battements par seconde c'est-à-dire au n° 60, ce qui fait 156 degrés, ou 2 battements au n° 78.

Si le diapason est différent de 880 vibrations, la différence des nombres de battements variera proportionnellement à celle des diapasons. Ainsi, généralement, les numéros fixés par le tableau varieront, pour chaque vibration, de $\frac{1}{880}$ de leur valeur. Or, le maximum de la différence des diapasons étant supposé de 40 vibrations, il s'ensuit que les numéros du métronome pourraient éprouver une variation maximum de $\frac{40}{880}$ ou $\frac{1}{22}$, en plus ou en moins, de leur valeur.

Scheibler s'avance donc un peu trop lorsqu'il affirme que l'on peut se servir du tableau n° X, même pour tout autre cas que celui du diapason de 880 vibrations; car de cette pratique il pourrait résulter une erreur de plus de 4 unités sur le numéro du métronome. Mais c'est encore un de ces faits que Scheibler n'aura pas eu l'occasion de vérifier, parce qu'il opérait sur un diapason constant de 880 vibrations; c'est une confirmation de la remarque que nous avons faite plus haut (page 84).

Digitized by Google

§ IX. — *Détermination de la hauteur de l'orgue.*

Les savants physiciens allemands, à leur réunion à Stuttgard en 1834, ont décidé que le LA normal serait de 880 vibrations, ou 6600 degrés de pendule.

En multipliant par $\frac{6}{5}$ pour avoir l'ut_1 géométrique, on trouve 1056, qui, baissé de 5 octaves, donne 33 vibrations pour l'ut_5 ou *ut* le plus grave. Dans le tempérament égal, il faut un peu baisser, ce qui rapproche cet ut_5 de 32 vibrations.

Ces nombres sont adoptés à cause de leur commodité, de même que l'on adopte 1024 pieds pour la vitesse du son, quand on n'a pas besoin d'une grande exactitude.

L'auteur donne à ce sujet les observations qu'il a faites sur les nombres absolus de vibrations correspondant à divers diapasons, pris, dit-il, aux meilleures sources, savoir :

	NOMBRE de vibrations par seconde.	DEGRÉS.
A Vienne, du professeur Blahetka.....	881,4	6608
" Streicher, facteur de pianos...	886	6645
" divers { depuis.....	890	6675
" divers { jusqu'à.....	866	6495
A Berlin, de toute première source.....	883,25	6623
A Paris, Conservatoire et Ital., par M. Gand.	869,9	6517
" Académie de Musique, M. Petitbout.	867,5	6502
" *id.* un plus ancien, M. Petitbout.	853,5	6398
" M. Gand.....	870,1	6525
J'ajoute ici 1° le diapason de M. Wolfel (page 73).....	886,5	6649
2° Celui du théâtre de Lille, d'après M. Delezenne.....	879,29	"

Digitized by Google

Ces préliminaires posés, passons à la détermination du ton de l'orgue.

Nous avons supposé jusqu'ici que l'on accordait l'orgue sur le diapason normal de 880 vibrations, ou au moins sur un diapason connu. Mais si l'on ne connaît pas le ton sur lequel est déjà monté l'instrument, et que l'on veuille le maintenir quel qu'il soit, alors il faut commencer par le déterminer.

Le moyen le plus simple serait de le comparer à des fourchettes connues et faites exprès.

Scheibler en avait de trois espèces :

N° 1, LA normal (ci-dessus)	de 880 vibrations,
N° 2, ...	de 860,
N° 3, ...	de 840.

Le *la* dont on veut connaître la hauteur doit faire des battements mesurables avec l'un ou l'autre de ces trois *la*. Supposons qu'il soit plus bas que le n° 2, de manière à faire avec lui..... 3 battements au n° 64;
ce sera la même chose que.. 3,2.....au n° 60;
d'où 6,4 vibrations de différence, et par conséquent 853,6 pour le *la* inconnu.

Mais on peut trouver la hauteur de l'instrument par l'instrument même.

Il suffit pour cela d'accorder, dans l'octave grave ut_3—ut_2, deux tons géométriques (*voyez* ci-dessus § VII), et de mesurer par le métronome la distance de l'un à l'autre. On en déduit facilement la valeur d'un *la* quelconque.

Pour se procurer ces tons géométriques, il faut établir un ton auxiliaire; et, pour cet objet, c'est le la_2 qui convient le mieux.

Si l'on descend ce la_2 de façon qu'il fasse avec LA, 2 battements au n° 80, il se trouvera trop bas de $\frac{4}{3}$ de vi-

Digitized by Google

bration, quelle que fût d'ailleurs la hauteur primitive (1).

Ce la_2 auxiliaire est convenable pour établir les tons géométriques; et, comme on peut facilement le vérifier, il doit faire avec

				Vérification.	
ut_3..... 2 battements au n° 60		$\frac{la}{ut} = \frac{5}{3}$	$\frac{2}{3} \times 3 = 2$		
ut^*_3..... 4	*id*..... 50	$\frac{la}{ut^*} = \frac{8}{5}$	$\frac{2}{3} \times 5 = \frac{10}{3}$	$\times 60 = 200$	
$ré_3$..... 1	*id*..... 80	$\frac{la}{ré} = \frac{3}{2}$	$\frac{2}{3} \times 2 = \frac{4}{3}$	$\times 60 = 80$	
mi_3..... 2	*id*..... 60	$\frac{la}{mi} = \frac{4}{3}$	$\frac{2}{3} \times 3 = 2$		
fa_3..... 2	*id*..... 80	$\frac{la}{fa} = \frac{5}{4}$	$\frac{2}{3} \times 4 = \frac{8}{3}$	$\times 60 = 160$	
fa^*_3..... 4	*id*..... 50	$\frac{la}{fa^*} = \frac{6}{5}$	$\frac{2}{3} \times 5 = \frac{10}{3}$	$\times 60 = 200$	

(Il faut faire bien attention que le la_2 auxiliaire d'après lequel on opère, étant plus bas que le la_2 vrai, il s'ensuit, réciproquement, que les tons géométriques doivent être plus hauts que leur rapport au la_2 ne l'exigerait.)

On peut trouver, dit Scheibler, jusqu'à quinze manières de mesurer les distances des tons géométriques exigés ci-dessus; voici les plus commodes. (*Voyez* le tableau n° XII.)

(On doit comprendre que les extrêmes sont évalués géométriquement, tandis que les intermédiaires sont pris dans l'orgue tels qu'ils se trouvent.)

Au moyen de ces tons géométriques, on parvient facilement à mesurer la hauteur d'un *la* quelconque. Prenons pour exemple le premier cas, celui où l'on veut mesurer la distance $ré_3 - fa^*_3$. Dans l'octave $ut_3 - ut_2$, chaque demi-ton fait des battements comptables avec ses voisins (4 battements du n° 50 au n° 84) (2). Alors, si le tempé-

---

(1) En effet, $\frac{LA}{la_2} = \frac{4}{1}$, et $2.80 : 4 = 40$ pulsations par minute, ou $\frac{2}{3}$ de vibration par seconde.

(2) L'octave $ut_2 - ut_1$, au contraire, ne peut conduire à la mesure du LA que par la différence d'ut_2 à ut^*_2. Pour établir ces tons mathématiquement,

Digitized by Google

rament de $ré^*_3$, mi_3, fa_3 est passable, on trouvera (*voyez* § VI) :

de.....	*ré* à *ré**	environ le n° 66 pour 4 battements,	
	*ré** — *mi*.		70
	mi — *fa*.		74
	fa — *fa**		65
	Somme en degrés. . .		275

Ce nombre 275 étant le *quart* de la valeur du $ré_3$ (1), en le multipliant par 3 on a pour le la_3 ou *la* le plus grave, le nombre 825 ; puis $825 \times 8 = 6600^o = 880$ vibrations pour le LA.

Le résultat indique laquelle des colonnes du tableau n° IX il faut employer : les procédés sont toujours les mêmes ; seulement on trouve des chiffres d'autant plus élevés, que l'instrument l'est lui-même.

Si, au lieu d'accorder le la_2 auxiliaire d'après le LA de l'orgue, à 2 battements plus bas au n° 80, on l'accorde d'après un LA inconnu d'une fourchette donnée, on apprend par les mêmes procédés à connaître la hauteur de cette fourchette ; et, d'après elle, on peut en accorder une autre aux vibrations voulues, en ajoutant ou retranchant, pour chaque vibration, $7^o\frac{1}{2}$ de pendule : en sorte qu'ayant trouvé, par exemple, un certain LA de 6525° (870 vibrations), il faudrait faire un autre LA plus haut de 4 battements au n° 75, pour avoir le LA normal d'Allemagne, puisque $6525 + 75 = 6600^o = 880$ vibrations.

La recherche de la hauteur du LA exige l'exactitude la

---

il faut descendre le la_1 de manière qu'il fasse avec LA un battement au n° 80 : il aura alors $439\frac{1}{5}$ vibrations. Avec ce la_1 auxiliaire, ut_2 doit faire 4 battements au n° 30 (en montant), ut^*_2 doit faire 4 battements au n° 50, et alors ils ont respectivement 264 et 275 vibrations ; différence = 11, laquelle, multipliée par 20, donne la_3 et celui-ci par 4 donne le LA cherché.

(1) Cette partie de la question revient à ceci : *Étant donnés la somme de deux nombres et leur rapport, déterminer ces deux nombres.*

Digitized by Google

plus rigoureuse et un métronome parfait, puisque les résultats doivent être multipliés par d'assez grands nombres (de 20 à 80).

§ X. — *Observations générales.*

Scheibler fait, sur l'emploi des fourchettes, les remarques suivantes que nous croyons utile de reproduire :

« Les fourchettes avec lesquelles on fait les expériences » doivent sonner pendant une minute. On en prolonge le » son en les vissant sur une cheville de bois de 5 pouces de » hauteur (voyez *Pl. I, fig.* 1).

» Au gros bout de cette cheville est adapté un pas de » vis dans un écrou en cuivre (*fig.* 2).

» Sur le manche de la fourchette est vissé très-solidement » un manche en bois, afin que, dans les expériences, on » puisse toujours *se dispenser de toucher la fourchette* » *elle-même*, c'est-à-dire la partie métallique (*fig.* 3).

» Après avoir vissé la fourchette sur la cheville, on » plante l'ensemble dans de petits trous sur une table » d'harmonie. On frappe les fourchettes avec une ba- » guette en baleine dont un bout est garni d'une vingtaine » de rondelles de drap serrées entre deux rondelles plus » petites en cuivre.

» Si l'on tient à la main les branches d'une fourchette » pendant une minute, continue-t-il, le métal s'échauffe, » et *il lui faut environ quinze jours* pour revenir à la même » température qu'elle avait auparavant, et pour faire les » mêmes battements. Aussi *ne faut-il pas faire deux expé-* » *riences le même jour avec la même fourchette.*

» Vingt degrés du thermomètre de Réaumur, dit-il » ensuite, font descendre mon LA diapason de 17°,8 de » pendule, et mon *la*$_1$ inférieur, de 7°,50; ce qui fait, pour » 1 degré de Réaumur, sur le LA diapason, 0°,89 de perte, » et sur le *la*$_1$ inférieur, 0°,375.

» *Comme on distingue la vitesse du* n° 60 *de celle du*

Digitized by Google

» n° 60, 1, *on distingue donc, au* LA, $\frac{1}{674}$, *et au* la_1, $\frac{1}{1000}$ *de* » *degré de Réaumur.* »

Ceci est évidemment *une erreur;* il faut diviser 0,1 par 0,89 et par 0,375 pour avoir les nombres de degrés de chaleur correspondant à 0,1 degré de pendule sur chacune des deux fourchettes, ce qui donne approximativement $\frac{1}{9}$ pour le LA diapason, et $\frac{1}{4}$ pour le *la*, inférieur (1).

Quoi qu'il en soit, l'idée de faire servir le ton de la fourchette à évaluer sa température n'en est pas moins digne de remarque.

L'inventeur avait si bien senti la nécessité de soustraire ses fourchettes à l'influence de la température, qu'il avait soin, à ce que nous a assuré M. Newcom, de les tenir constamment plongées dans le mercure hors du temps des expériences.

Au reste, c'est sans doute la considération de ce moyen d'évaluer la température par les vibrations, qui fit dire à Savart que les expériences de Scheibler avaient peut-être une plus haute portée que celui-ci ne le soupçonnait.

« Faute de loisir, poursuit l'auteur, ces expériences n'ont » pas été assez multipliées pour que j'en pusse déduire une » loi générale; et le poids des fourchettes n'a pas non plus » été pris en considération. »

Quant au métronome, Scheibler pense qu'on fera les premières expériences avec un métronome en bois. « Il » faut alors le régler de manière que le n° 60 fasse bien » exactement 60 mouvements par minute. Si cette condi- » tion n'est pas bien remplie, il faut ajouter un peu de cire » d'Espagne, en haut si le pendule marche trop vite, en » bas s'il retarde. Quand il y a trop de cire, on en ôte avec » la lime.

» Pour bien accorder, il faut se donner le temps. Les bat-

(1) L'auteur, pour arriver à l'absurde conséquence qu'il énonce, a divisé par 601 les fractions 0,89 et 0,375.

Digitized by Google

» tements doivent conserver, pendant 30 secondes au » moins, le *tempo* qu'indique le métronome.

» Quand les battements d'un ton sont déjà assez justes, on » fera bien de dire 1 au moment où l'un d'eux tombe juste » sur le point où le pendule retourne, et de fermer les yeux » en continuant à compter. Si, au lieu de compter comme » auparavant : 1, 2..., 1, 2. ., on continue en comptant » 1, 2, 3, 4..., 1, 2, 3, 4..., etc., ou si, au lieu de 1, 2, » 3, 4..., 1, 2, 3, 4..., on continue par 1, 2, 3, 4, » 5, 6, 7, 8..., on doit trouver le pendule, en ouvrant » les yeux après quelque temps, au moment où l'on dit 1, » exactement sur la même place où on l'avait vu en les fer- » mant. On distingue bien facilement, par ce moyen, si » les mouvements du métronome sont bien d'accord avec les » battements, ou s'il faut corriger ceux-ci.

» Quand les yeux sont constamment fixés sur le pendule, » *il entraîne*, dit-il (1).

» Les registres qui donnent les battements les plus cor- » rects sont les registres *principal* de 8 et de 4 pieds. Il faut » se servir du premier, qui descend jusqu'en ut_3, pour me- » surer le LA, et du dernier, pour accorder l'octave normale » LA — la_1 d'après la Table. On fera attention de ne pas » accorder l'octave la^1 — LA, mais bien LA — la_1, et de » ne pas se laisser tromper par le clavier qui est d'une oc- » tave trop bas au registre de 4 pieds.

» Les grands tuyaux étant assez difficiles à accorder, » continue-t-il, j'ai fait appliquer sur plusieurs orgues une » mécanique très-commode, et que je puis recommander » pour l'octave normale, ou du moins pour les tons auxi- » liaires. (15 tons, dit-il, m'ont coûté 8 francs.)

» On fait raccourcir les tuyaux d'environ 2 lignes, ce » qui les rend plus hauts (c'est-à-dire ce qui élève leur ton).

(1) M. Wolfel, pour se mettre à l'abri de la variation des amplitudes, préfère avec raison prendre pour repère une ligne verticale devant laquelle il place son métronome.

Digitized by Google

» A l'ouverture d'en haut on applique un anneau *a*
» (*fig.* 4), plat, en noyer, large de 3 à 4 lignes sur 2 à 2 $\frac{1}{2}$
» d'épaisseur.

» Sur cet anneau se trouve attaché par un clou d'épin-
» gle *b*, et pivotant sur lui, une demi-lune ou croissant *c*,
» dont la courbe intérieure est pareille au cercle intérieur
» de l'anneau.

» Le bout *d* du croissant est une courbe que l'on obtient
» en la décrivant du centre *b*. On garnit le haut de ce
» bout *d* d'un petit morceau de cuir élastique *e*.

» *f* est un bout saillant de l'anneau, auquel doit être
» collé le montant *g*, qui est traversé par la cheville *h*.

» Cette cheville, en gros fil de cuivre avec une tête en
» bois, fait mouvoir le croissant, en sorte que, par son
» moyen, on baisse ou hausse le ton à volonté avec une
» très-grande précision.

» Le fil de cuivre de la cheville est cannelé (taraudé) par
» un ciseau à dents fines, dont les tourneurs se servent pour
» faire des vis.

» L'orgue est très-sensible à la chaleur et au froid. De
» plus, les tuyaux des différents registres étant, partie en
» métal, partie en bois, la température n'y influe pas uni-
» formément; d'où résulte la nécessité de les accorder au
» moins une fois pour l'hiver et une fois pour l'été. »

Digitized by Google

Tableau n° I. — *Solution de la première question.*

NUMÉRO d'ordre.	NATURE de la consonnance.	RAPPORT.	PULSATIONS en plus ou en moins pour 1 battement.		BATTEMENTS en plus ou en moins pour 1 pulsation.	
			Corde aiguë.	Corde grave.	Corde aiguë.	Corde grave.
1	Unisson.....	1 : 1	1	1	1	1
2	Octave.....	2 : 1	1	$\frac{1}{2}$	1	2
3	Double octave.....	4 : 1	1	$\frac{1}{4}$	1	4
4	Quinte.....	3 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	2	3
5	Quarte.....	4 : 3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	3	4
6	Tierce majeure....	5 : 4	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	4	5
7	Tierce mineure...	6 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	5	6
8	Sixte majeure.....	5 : 3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	3	5
9	Sixte mineure.....	8 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{8}$	5	8
10	Douzième.	3 : 1	1	$\frac{1}{3}$	1	3
11	Dixième.....	5 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	2	5
12	Dix-septième.	5 : 1	1	$\frac{1}{5}$	1	5

Tableau n° II. — *Solution de la deuxième question.*

ut	*ut**	*ré*	*mi*	*fa*	*fa**
de		de		de	
264	275	293	330	352	367

pulsations,

tierce mineure	tierce majeure	quarte	quinte	sixte mineure	sixte majeure

(à l'aigu) du *la* de 220 pulsations, dans le rapport de

6 : 5	5 : 4	4 : 3	3 : 2	8 : 5	5 : 3

doit être altéré de

$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$

de pulsation pour faire avec ce *la* 1 battement par seconde; et alors, comparé au *la* de 440 pulsations qui en est à la

sixte majeure	sixte mineure	quinte	quarte	tierce majeure	tierce mineure

(à l'aigu) dans le rapport de

5 : 3	8 : 5	3 : 2	4 : 3	5 : 4	6 : 5

il fait avec lui

1	2	1	2	1	2

battements par seconde.

Digitized by Google

Tableau n° III. — *Battements que fait avec les notes de la gamme tempérée, un* la *auxiliaire de* $442\frac{2}{3}$ *vibrations.* (a) (a)

NOM du tuyau.	NOMBRE de vibrations du tuyau.	NATURE de la consonnance.	Montante ou descend°.	NOMBRE de vibrations de la consonnance exacte.	DIFFÉRENCE	RAPPORT de la consonnance	COEFFICIENT de la consonnance.	PRODUIT ou nombre de battements au n° 60.	NOMBRE de battements.	NUMÉROS du métronome	NUMÉROS DU MÉTRONOME lorsque (b) le diapason est de 840 vibrations	(b) le diapason est de 920 vibrations.	(c) le *la* auxiliaire a $\frac{4}{15}$ de vibrations de moins ou de plus.
la_1	440,000	Unisson.	"	$442\frac{2}{3}$	$-2\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	$-\frac{4}{3}$	1	− 80,00	− 80,00	− 80,00	− 80,00 ∓ 8
LA	880,000	Octave.	M	$885\frac{1}{3}$	$-5\frac{1}{3}$	2	$\frac{1}{2}$	$-\frac{8}{3}$	2	− 80,00	− 80,00	− 80,00	− 80,00 ∓ 8
la_2	220,000	Octave.	D	$221\frac{1}{3}$	$-1\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	$-\frac{4}{3}$	1	− 80,00	− 80,00	− 80,00	− 80,00 ∓ 8
la^1	1760,000	Double octave.	M	$1770\frac{2}{3}$	$-10\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{16}{3}$	4	− 80,00	− 80,00	− 80,00	− 80,00 ∓ 8
mi_1	659,255	Quinte.	M	664,000	− 4,745	$\frac{3}{2}$	1	− 4,745	4	− 71,18	− 70,67	− 71,69	− 71,18 ∓ 6
$ré_1$	587,329	Quarte.	M	590,222	− 2,893	$\frac{4}{3}$	$\frac{2}{3}$	− 4,339	4	− 65,09	− 65,77	− 64,41	− 65,09 ∓ 8
ut_1	554,365	Tierce majeure.	M	553,333	+ 1,032	$\frac{5}{4}$	2	+ 2,064	2	+ 61,93	+ 50,03	+ 73,83	+ 61,93 ± 20
fa^*_2	369,994	Tierce mineure.	D	368,889	+ 1,105	$\frac{5}{6}$	3	+ 3,316	4	+ 49,74	+ 42,93	+ 56,55	+ 49,74 ± 10
fa^*_1	739,989	Sixte majeure.	M	737,778	+ 2,211	$\frac{5}{3}$	$\frac{3}{2}$	+ 3,316	4	+ 49,74	+ 42,93	+ 56,55	+ 49,74 ± 10
ut^*_2	277,183	Sixte mineure.	D	276,667	+ 0,516	$\frac{5}{6}$	4	+ 2,064	2	+ 61,93	+ 50,03	+ 73,83	+ 61,93 ± 20
mi^1	1318,510	Douzième.	M	1328,000	− 9,491	3	$\frac{1}{2}$	− 4,745	4	− 71,18	− 70,67	− 71,69	− 71,18 ∓ 6
ut^{*1}	1108,731	Dixième.	M	1106,667	+ 2,064	$\frac{5}{2}$	1	+ 2,064	2	+ 61,93	+ 50,03	+ 73,83	+ 61,93 ± 20
ut^{*2}	2217,462	Dix-septième.	M	2213,333	+ 4,129	5	$\frac{1}{2}$	+ 2,064	2	+ 61,93	+ 50,03	+ 73,83	+ 61,93 ± 20

Digitized by Google

Tableau n° IV. — *Rapports mutuels des* 12 *demi-tons de l'échelle tempérée.* — Exemple : *De combien de vibrations ou de pulsations est le* 5e *demi-ton* ré, *si le* la *est de* 440 ? — Réponse : 533,9 + 53,4 = 587,3.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
la.....	0	100000	200000	300000	400000	500000	600000	700000	800000	900000
si♭.....	1	105946	211893	317839	423785	529732	635678	741624	847570	953517
si.....	2	112246	224492	336739	448985	561231	673477	785723	897970	1010216
ut.....	3	118921	237841	356762	475683	594604	713524	832445	951366	1070286
*ut**.....	4	125992	251984	377976	503968	629961	755953	881945	1007937	1133929
ré.....	5	133484	2[illegible]6968	400452	533936	667420	800904	94[illegible]388	1067872	1201356
mi♭.....	6	141421	282843	424264	565685	707107	848528	989949	1131371	1272792
mi.....	7	149831	299661	449492	599323	749154	898984	1048815	1198646	1348476
fa.....	8	158740	317480	476220	634960	793701	952441	1111181	1269921	1428664
*fa**.....	9	168179	336359	504538	672717	840896	1009076	1177255	1345434	1513613
sol.....	10	178180	356360	534539	712719	890899	1069079	1247258	1425438	1603618
la♭.....	11	188775	377550	566325	755099	943874	1132649	1321424	1510199	1698974
la.....	12	200000	400000	600000	800000	1000000	1200000	1400000	1600000	1800000

Digitized by Google

Tableau n° V.

Échelles de tempérament égal.

mi$_1$ auxiliaire.	630,900	660,900	690,900	*mi*$_1$ auxiliaire.
la$_1$.....	422,667	442,667	462,667	*la*$_1$
fa$_2$.....	334,933	350,933	366,933	*fa*$_2$
si$^b_1$.....	443,911	465,244	486,578	*si*$^b_1$
la$_1$.....	420,000	440,000	460,000	*la*$_1$
si^b.....	444,975	466,164	487,353	*si*^{b}
si.....	471,435	493,884	516,332	*si*
ut.....	499,467	523,251	547,035	*ut*
*ut**.....	529,167	554,365	579,564	*ut**
ré.....	560,633	587,329	614,027	*ré*
mi^b.....	593,968	622,253	650,539	*mi*^{b}
mi.....	629,289	659,255	689,221	*mi*
fa.....	666,708	698,456	730,205	*fa*
*fa**.....	706,353	739,989	773,625	*fa**
sol.....	748,355	783,991	819,627	*sol*
*sol**.....	792,855	830,609	868,364	*la*^{b}
LA.....	840,000	880,000	920,000	LA
*ut**^{1}.....	1058,333	1108,731	1159,126	*ut**^{1}
*ut**^{2}.....	2116,665	2217,461	2318,253	*ut**^{2}
ut$^*_2$.....	264,584	277,183	289,783	*ut*$^*_2$
mi^1.....	1258,576	1318,512	1378,443	*mi*^{1}

Digitized by Google

Tableau n° VI.

Tableau comparatif de la gamme géométrique avec la gamme tempérée, pour le diapason normal.

NOTE.	VALEUR GÉOMÉTR.	VALEUR TEMPÉRÉE.	DIFFÉRENCE.
la = $\frac{1}{2}$ LA.....	440,000	440,000	0,000
si^b = $\frac{8}{15}$.....	469,333	466,164	— 3,169
si = $\frac{9}{16}$.....	495,000	493,884	— 1,116
ut = $\frac{3}{5}$.....	528,000	523,251	— 4,749
*ut** = $\frac{5}{8}$.....	550,000	554,365	+ 4,365
ré = $\frac{2}{3}$.....	586,667	587,329	+ 0,662
mi^b = $\frac{32}{45}$.....	625,778	622,253	— 3,525
mi = $\frac{3}{4}$.....	660,000	659,255	— 0,745
fa = $\frac{4}{5}$.....	704,000	698,456	— 5,544
*fa** = $\frac{5}{6}$.....	733,333	739,989	+ 6,656
sol = $\frac{4}{5}$.....	782,222	783,991	+ 1,769
la^b = $\frac{15}{16}$.....	825,000	830,609	+ 5,609
la = 1.....	880,000	880,000	0,000
mi auxiliaire.....	660,000	660,900	+ 0,900
mi × $\frac{3}{4}$.....	495,000	495,675	+ 0,675
la auxiliaire.....	440,000	442,667	+ 2,667
la × $\frac{5}{4}$.....	550,000	553,333	+ 3,333
la × $\frac{4}{3}$.....	586,667	590,222	+ 3,556
la × $\frac{5}{3}$.....	733,333	737,778	+ 4,444
la × $\frac{5}{2}$.....	1100,000	1106,667	+ 6,667
fa auxiliaire.....	352,000	350,933	— 1,067
fa × $\frac{4}{3}$.....	469,333	467,911	— 1,422
fa × $\frac{3}{2}$.....	528,000	526,400	— 1,600
fa × $\frac{2}{1}$.....	704,000	701,867	— 2,133
fa × $\frac{5}{4}$.....	440,000	438,667	— 1,333
si^b auxiliaire.....	469,333	465,244	— 4,089
si^b × $\frac{4}{3}$.....	625,778	620,326	— 5,452

Digitized by Google

Tableau n° VII. — *Accord géométrique de l'orgue.*

NUMÉRO d'ordre.	VALEUR du rapport $\frac{X_1}{n_1}$.	TUYAU à accorder, et rapport au tuyau fondamental.	NOMBRE de battements.	VALEURS des notes de la gamme géométrique.
1	—	$mi_1 = \frac{3}{4}$ LA	$-X_1 = 40$	"
2	$\frac{X_1}{n_1} = \frac{40}{4} = 10$	$si_1 = \frac{9}{4}\, mi_1$	$10.3 = 30$	$si = \frac{9}{8}\, la_1 = \frac{9}{16}$ LA
3		$sol^{\sharp}_1 = \frac{5}{4}\, mi_1$	$10.5 = 50$	$sol^{\sharp} = \frac{15}{8}\, la_1 = \frac{15}{16}$ LA
4	—	$la_1 = \frac{1}{2}$ LA	$-X_1 = 20$	"
5	$\frac{X_1}{n_1} = \frac{20}{2} = 10$	$ut^{\sharp}_1 = \frac{5}{4}\, la_1$	$10.5 = 50$	$ut^{\sharp} = \frac{5}{4}\, la_1 = \frac{5}{8}$ LA
6		$ré_1 = \frac{4}{3}\, la_1$	$10.4 = 40$	$ré = \frac{4}{3}\, la_1 = \frac{2}{3}$ LA
7		$mi_1 = \frac{3}{2}\, la_1$	$10.3 = 30$	$mi = \frac{3}{2}\, la_1 = \frac{3}{4}$ LA
8		$fa^{\sharp}_1 = \frac{5}{3}\, la_1$	$10.5 = 50$	$fa^{\sharp} = \frac{5}{3}\, la_1 = \frac{5}{6}$ LA
9	—	$si^{b}_1 = \frac{4}{5}\, ré_1$	$-X_1 = 50$	"
10	$\frac{X_1}{n_1} = \frac{50}{5} = 10$	$mi^{b}_1 = \frac{4}{3}\, si^{b}_1$	$10.4 = 40$	$mi^{b} = \frac{64}{45}\, la_1 = \frac{32}{45}$ LA
11		$sol_1 = \frac{5}{3}\, si^{b}_1$	$10.5 = 50$	$sol = \frac{16}{9}\, la_1 = \frac{8}{9}$ LA
12	—	$fa_2 = \frac{3}{5}$ LA	$-X_1 = 60$	"
13	$\frac{X_1}{n_1} = \frac{60}{5} = 12$	$la_1 = \frac{5}{4}\, fa_2$	$12.5 = 60$	$la = la_1 = \frac{1}{2}$ LA
14		$si^{b}_1 = \frac{4}{3}\, fa_2$	$12.4 = 48$	$si^{b} = \frac{16}{15}\, la_1 = \frac{8}{15}$ LA
15		$ut_1 = \frac{3}{2}\, fa_2$	$12.3 = 36$	$ut = \frac{6}{5}\, la_1 = \frac{3}{5}$ LA
16		$fa_1 = \frac{3}{1}\, fa_2$	$12.2 = 24$	$fa = \frac{3}{5}\, la_1 = \frac{4}{5}$ LA

Descendez pour les quatre tuyaux auxiliaires et montez pour tous les autres.

Digitized by Google

Tableau n° VIII. — *Partition de l'accord de l'orgue pour le cas du diapason normal de 880 vibrations par seconde.*

Numéro d'ordre.	Son nom.	Sa nature.	Nombre de vibrations du tuyau fondamental.	Nature de la consonnance.	Montant ou descendant.	Valeur du rapport.	Son nom.	Nature du tuyau à accorder.	Nature de la relation.	Nombre de vibrations de la consonnance exacte.	Nombre de vibrations du tuyau à accorder.	Altération de la consonnance.	Coefficient de la consonn.e.	Battements.	Degrés du métronome.	En montant.	En descendant.	Numéro d'ordre.
1	*la*	Diapason.	880,000	Quarte.	D	3/4	*mi*	A	C	660,000	660,900	+ 0,900	4	+ 2	54,00			1
2	*mi*	Auxiliaire	660,900	Quarte.	D	3/4	*si*	T	F	495,675	493,884	— 1,791	4	— 4	53,73			2
3	*la*	Diapason.	880,000	Quarte.	D	3/4	*mi*	T	P	660,000	659,255	— 0,745	4	— 1	89,40			3
4	*"*	*"*	880,000	Octave.	D	1/2	*la*	A	C	440,000	442,667	+ 2,667	2	+ 2	80,00			4
5	*la*	Auxiliaire	442,667	Tierce maj.	M	5/4	*ut**	T	F	553,333	554,365	+ 1,032	4	+ 2	61,92			5
6	*"*	*"*	442,667	Quarte.	M	4/3	*ré*	T	F	590,222	587,329	— 2,893	3	— 4	65,09			6
7	*"*	*"*	442,667	Sixte maj.	M	5/3	*fa**	T	F	737,778	739,989	+ 2,211	3	+ 3	66,33			7
8	*ré*	Tempéré.	587,329	Quarte.	M	4/3	*sol*	T	P	783,105	783,991	+ 0,886	3	+ 1	79,74			8
9	*la*	Auxiliaire	442,667	Dix^e maj.	M	5/2	*ut**	T	F	1106,667	1108,731	+ 2,064	2	+ 2	61,92			9
10	*ut*¹*	Tempéré.	1108,731	Quarte.	D	3/4	*sol**	T	P	831,548	830,609	— 0,939	4	— 2	56,34			10
11	*la*	Diapason.	880,000	Dix^e maj.	D	3/5	*fa*	A	C	352,000	350,933	— 1,067	5	— 2	80,00			11
12	*fa*	Auxiliaire	350,933	Quarte.	M	4/3	*si♭*	A	C	467,911	465,244	— 2,676	3	— 4	60,00			12
13	*si♭*	Auxiliaire	465,244	Quarte.	M	4/3	*mi♭*	T	F	620,326	622,253	+ 1,927	3	+ 3	57,81			13
14	*fa*	Auxiliaire	350,933	Quarte.	M	4/3	*si♭*	T	F	467,911	466,164	— 1,747	3	— 2	78,61			14
15	*"*	*"*	350,933	Quinte.	M	3/2	*ut*	T	F	526,400	523,251	— 3,149	2	— 3	62,98			15
16	*"*	*"*	350,933	Octave.	M	2/1	*fa*	T	F	701,867	698,456	— 3,411	1	— 2	51,16			16
17	*"*	*"*	350,933	Tierce maj.	M	5/4	*la*	T	C	438,667	440,000	+ 1,333	4	+ 2	80,00			17

ABRÉVIATIONS. — D, descendant ; M, montant. — A, auxiliaire ; T, tempéré. — C, constant ; P, proportionnel au diapason ; F, conforme à la formule générale.

NOTA. — Les tuyaux auxiliaires sont indiqués par des notes noires ; les notes accordées définitivement sont désignées par un point au centre.

Digitized by Google

Tableau n° IX. — *Table pour accorder l'orgue au tempérament égal, d'après un* la *quelconque.*

NUMÉRO.	(EN PARTAGEANT PAR MOITIÉ LA DIFFÉRENCE d'une colonne à l'autre, on en aurait 17.)	BATTEMENTS.	Col. 4. 840 v.	Col. 3. 850 v.	Col. 2. 860 v.	Col. 1. 870 v.	LA normal 880 v.	Col. *a*. 890 v.	Col. *b*. 900 v.	Col. *c*. 910 v.	Col. *d*. 920 v.	BATTEMENTS.	TON obtenu.
	Accordez d'après le												
1	*la* la quarte juste, puis haussez de	2	54	54	54	54	54	54	54	54	54	2	*mi* A
2	*mi* auxil. la quarte.. .....descendez de	4	52,2	52,6	53,0	53,4	53,7	54,1	54,5	54,9	55,3	4	*si* T
3	*la* la quarte.....descendez de	1	85,3	86,3	87,3	88,4	89,4	90,4	91,4	92,4	93,4	1	*mi* T
4	*la* l'octave.....haussez de..	2	80	80	80	80	80	80	80	80	80	2	*la* A
5	*la* auxil. la tierce majeure.....haussez de..	2	50,0	53,0	56,0	59,0	61,9	64,9	67,9	70,9	73,8	2	*ut** T
6	" la quarte.....descendez de	4	65,8	65,6	65,5	65,3	65,1	64,9	64,8	64,6	64,4	4	*ré* T
7	" la sixte majeure.....haussez de..	3	57,3	59,5	61,8	64	66,3	68,6	70,9	73,1	75,4	3	*fa** T
8	*ré* la quarte.....haussez de..	1	76,0	76,9	77,9	78,8	79,7	80,6	81,5	82,4	83,3	1	*sol* T
9	*la* auxil. la dixième.....haussez de..	2	50,0	53,0	56,0	59,0	61,9	64,9	67,9	70,9	73,8	2	*ut** T
10	*ut** la quarte.....descendez de	2	53,8	54,4	55,0	55,7	56,3	56,9	57,6	58,3	58,9	2	*sol** T
11	*la* la dixième.....descendez de	2	80	80	80	80	80	80	80	80	80	2	*fa* A
12	*fa* auxil. la quarte.....descendez de	4	60	60	60	60	60	60	60	60	60	4	*si*ᵇ A
13	*si*ᵇ auxil. la quarte.....haussez de..	3	62,7	61,5	60,3	59,1	57,8	56,6	55,4	54,2	53	3	*mi*ᵇ T
14	*fa* auxil. la quarte.....descendez de	2	72,1	73.8	75,4	77,0	78,6	80,2	81,9	83,5	85,1	2	*si*ᵇ T
15	" la quinte.....descendez de	3	58,7	59,8	60,9	61,9	63,0	64,1	65,2	66,2	67,3	3	*ut* T
16	" l'octave.....descendez de	2	47,4	48,3	49,3	50,2	51,2	52,1	53,0	54,0	54,9	2	*fa* T
17	" la tierce majeure....haussez de..	2	80	80	80	80	80	80	80	80	80	2	*la* T

Digitized by Google

Tableau n° X.

Erreur que l'on pourrait commettre en négligeant la différence des diapasons.

NUMÉRO d'ordre.	NOTE.	N	n	X′ — X	$\frac{N}{3on}(X'-X)$	PRODUIT par 40.	NOMBRE de Scheibler	DIFFÉR.
14	*si*ᵇ	2	3	— 0,162 *d*	— 0,0036 *d*	—0,14	— 0,15	+0,01
2	*si*	4	4	— 0,038 *d*	— 0,0013 *d*	—0,05	— 0,05	0
15	*ut*	3	2	— 0,108 *d*	— 0,0054 *d*	—0,22	— 0,21	—0,01
5	*ut**	2	4	+ 0,298 *d*	+ 0,0050 *d*	+0,20	+ 0,05	+0,15
6	*ré*	4	3	+ 0,017 *d*	+ 0,0008 *d*	+0,03	+ 0,01	+0,02
13	*mi*ᵇ	3	3	— 0,120 *d*	— 0,0040 *d*	—0,16	— 0,16	0
3	*mi*	1	4	+ 0,102 *d*	+ 0,0009 *d*	+0,03	— 0,01	+0,04
16	*fa*	2	1	— 0,094 *d*	— 0,0063 *d*	—0,25	— 0,26	+0,01
7	*fa**	3	3	+ 0,227 *d*	+ 0,0076 *d*	+0,30	+ 0,07	+0,23
8	*sol*	"	"	"	+ 0,0020 *d*	+0,08	+ 0,06	+0,02
10	*sol**	"	"	"	+ 0,0064 *d*	+0,26	+ 0,26	0

Digitized by Google

Tableau n° XI. — *Complément de l'accord d'après l'octave normale.*

ACCORDER	D'APRÈS	INTERVALLE.	BATTEMENTS.	NUMÉRO du métronome.
ut_3	mi_1	Dix-septième descende.	— 2	77,8
ut^*_3	fa_1		"	82,5
$ré_3$	fa^*_1		"	87,4
mi^b_3	sol_1		— 4	46,3
mi_3	sol^*_1		"	49,0
fa_3	la_1	Dixième descendante.	— 4	52,0
fa^*_3	si^b_1		"	55,1
sol_3	si_1		"	58,4
sol^*_3	ut_1		"	61,8
la_2	ut^*_1		"	65,5
si^b_2	$ré_1$		"	69,4
si_2	$ré^*_1$		"	73,4
ut_2				
ut^*_2				
$ré_2$				
$ré^*_2$				
mi_2	la_1	Quarte descendante.	— ½	89,3
fa_2	si^b_1		— 1	47,3
fa^*_2	si_1		"	50,1
sol_2	ut_1		"	53,1
sol^*_2	ut^*_1		"	56,2

ACCORDER	D'APRÈS	INTERVALLE.	BATTEMENTS.	NUMÉRO du métronome.
la_1				
si^b_1				
si_1				
ut_1				
ut^*_1				
$ré_1$	la_1	Quarte montante.	+ 1	59,6
mi^b_1	si^b_1		"	63,1
mi_1	si_1		"	66,9
fa_1	ut_1		"	70,8
fa^*_1	ut^*_1		"	75,9
sol_1	$ré_1$		"	79,2
sol^*_1	mi^b_1		"	84,3
LA	mi_1		"	89,3
si^{b1}	fa_1		+ 2	47,3
si^1	fa^*_1		"	50,1
ut^1	sol_1		"	53,1
ut^{*1}	sol^*_1		"	56,3
$ré^1$	LA		"	59,6
mi^{b1}	sol^*_1	Quinte m^te^.	— 1	84,2
mi^1	LA		"	88,6

ACCORDER	D'APRÈS	INTERVALLE.	BATTEMENTS.	NUMÉRO du métronome.
fa^1	si^b_1	Douzième montante.	— 1	47,2
fa^{*1}	si_1		"	50,1
sol^1	ut_1		"	53,0
sol^{*1}	ut^*_1		"	56,2
la^1	$ré_1$		"	59,5
si^{b2}	mi^b_1		"	63,2
si^2	mi_1		"	67,0
ut^2	fa_1		"	70,9
ut^{*2}	fa^*_1		"	75,2
$ré^2$	sol_1		"	79,6
mi^{b2}	sol^*_1		"	84,2
mi^2	LA		"	89,3

Digitized by Google

Tableau n° XII. — *Table pour établir des tons géométriques servant à mesurer le* LA.

Descendez le la_3, double octave de LA, jusqu'à ce qu'il fasse avec ce dernier — 2 battements au n° 80; puis d'après le la_3 ainsi descendu, accordez les tons suivants, d'abord juste, puis haussez. — NOTA. Les tons géométriques sont plus hauts ou plus bas que les tons tempérés correspondants, suivant qu'ils sont ici marqués > ou <.

Première manière.	$ré_3$ juste, puis haussez à 1 battement au n° 80		<	On aura à peu près pour 4 battements :
	fa^*_3 ..... 4 50		<	du *ré* au *ré** .. n° 66
	$\frac{fa^*}{ré} = \frac{5}{4}$	$\frac{fa^* - ré}{ré} = \frac{1}{4}$	$fa^* - ré = \frac{1}{4} ré_3 = \frac{1}{3} la_3$	*ré** ... *mi* ... 70
				mi ... *fa* ... 74
				fa .... *fa** .. 65
				Total..... $275 \times 3 \times \frac{8}{15} = 440$ puls.
Deuxième manière.	$ré_3$ 1 80		<	du *ré* au *ré** .. n° 67
	fa_3 ..... 2 80		>	*ré** ... *mi* .. 69
	$\frac{fa}{ré} = \frac{6}{5}$	$\frac{fa - ré}{ré} = \frac{1}{5}$	$fa - ré = \frac{1}{5} ré_3 = \frac{4}{15} la_3$	*mi* .... *fa* . . 84
				Total..... $220 \times \frac{15}{4} \times \frac{8}{15} = 440$ puls.
Troisième manière.	$ré_3$ 1 80		<	du *ré* au *ré** .. n° 67
	mi_3 ..... 2 60		>	*ré** ... *mi* ... $70\frac{1}{2}$
	$\frac{mi}{ré} = \frac{9}{8}$	$\frac{mi - ré}{ré} = \frac{1}{8}$	$mi - ré = \frac{1}{8} ré_3 = \frac{1}{6} la_3$	Total..... $137\frac{1}{2} \times 6 \times \frac{8}{15} = 440$ puls.
Quatrième manière.	mi_3 ..... 2 60		>	du *mi* au *fa* .. n° $82\frac{1}{2} \times 10 \times \frac{8}{15} = 440$ puls.
	fa_3 ..... 2 80		>	
	$\frac{fa}{mi} = \frac{16}{15}$	$\frac{fa - mi}{mi} = \frac{1}{15}$	$fa - mi = \frac{1}{15} mi_3 = \frac{1}{10} la_3$	

Digitized by Google

MÉMOIRE SUR LE CAFÉ;

PAR M. PAYEN.

Payssé, Chenevix, Cadet de Vaux et Cadet de Gassicourt ont examiné la composition du café sans isoler aucun des principes immédiats; Runge découvrit et Robiquet étudia la caféine, substance azotée, cristallisable; Robiquet a signalé dans le café deux substances grasses, dont l'une lui parut analogue aux résines.

Un habile chimiste allemand, M. Rocheleder, examina, en 1844, les matières grasses du café: il en retira de l'acide palmitique et de l'acide oléique; il fit voir que le café ne contient pas de résine; indiqua la présence d'une substance azotée, la légumine. Le tissu résistant lui sembla formé de l'une des substances ligneuses qne j'ai fait connaître.

Malgré les efforts des savants dont je viens de citer les noms, les connaissances chimiques qui se rattachent à cet important produit laissent à désirer. J'ai entrepris de les pousser un peu plus loin.

Examen organographique. — La masse résistante, d'apparence cornée, formant le périsperme ou endosperme de ces graines dépouillées de leur péricarpe, présente sous le microscope un tissu de cellules juxtaposées, à parois épaisses, creusées de cavités irrégulières, communiquant entre elles par de petites ouvertures.

Les parois épaisses, désagrégées par l'acide sulfurique en présence de l'iode, acquièrent cette coloration bleue indigo qui dénote la cellulose, puis se résolvent en solution gommeuse indiquant la dextrine. Les corpuscules organiques agglomérés, teints de couleur orangée par ces réactifs, signalent, avec leur composition azotée: 1° une cuticule périphérique recouvrant, dans tous leurs replis, les surfaces du périsperme; 2° les substances azotées spongieuses remplissant les cellules épidermiques, et renfermant des ma-

Digitized by Google

tières oléiformes; 3° dans les cellules plus internes, des corps granuleux analogues, contenant des substances grasses; 4° enfin des membranes lamelliformes, injectées de matières azotées, dans les méats intercellulaires.

Analyse immédiate. — Le café doit être d'abord réduit en poudre fine et grossière, au moyen d'une lime ou sous le pilon; on l'épuise ensuite par l'éther dans un appareil à déplacement et distillation continue (1).

La solution éthérée donne, par le rapprochement à sec, une matière grasse, que l'on épure au moyen de lavages à l'eau bouillante.

Les solutions aqueuses rapprochées laissent un résidu fauve ou brun, qui, traité par l'alcool anhydre (2), abandonne, après l'évaporation, un dépôt cristallin, qu'il suffit de laver par l'alcool froid, dissoudre dans l'alcool bouillant et faire cristalliser, pour obtenir de ce traitement, répété deux fois, la caféine en prismes déliés, blancs et brillants.

La caféine pure ainsi obtenue, pour la première fois directement, est fusible à chaud et volatile sans résidu; ses vapeurs, condensées, reproduisent des cristaux sublimés en prismes incolores et diaphanes. Elle a donné, dans quatre analyses, des nombres qui diffèrent peu de la composition admise. Sa composition élémentaire et son poids équivalent, indéterminé jusqu'alors, correspondraient à la formule suivante :

C^{16}.....	96	ou	1200	ou	50,855
H^{10}.....	10		125		5,085
Az^{4}.....	56		708		30,000
O^{3}.....	24		300		14,060
	186		2333		100,000

(1) Voyez la description de cet appareil, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XIII, page 59.

(2) La partie de l'extrait aqueux qui ne se dissout pas dans l'alcool anhydre contient une petite quantité d'un composé cristallisable nouveau, de légumine et d'une autre matière azotée.

Digitized by Google

Le café que l'on a épuisé par l'éther est soumis à un lavage jusqu'à épuisement, avec l'alcool à 0,60; les solutions, rapprochées en consistance légèrement sirupeuse, sont mêlées avec trois fois leur volume d'alcool à 0,85. Le liquide se sépare en deux parties : l'une est visqueuse et se dépose; l'autre, très-fluide, surnage. On décante celle-ci, qui renferme la plus grande partie du composé cristallisable nouveau. On peut s'en assurer en mettant une petite quantité de la solution dans un tube, puis y ajoutant une goutte d'ammoniaque : la coloration jaune virant au vert, graduellement plus intense, est l'indice certain de ce fait; il a conduit au procédé que nous décrivons, et sert encore de guide dans les opérations ultérieures, lorsque, ayant des eaux mères à traiter, on cherche à éliminer par l'alcool les substances étrangères au composé que l'on veut obtenir. D'ailleurs, pour reprendre dans les divers précipités une partie du composé cristallisable, il suffit de les redissoudre à courte eau, puis de précipiter de nouveau par l'alcool à 0,85 ou 0,90; le liquide surnageant entraîne en dissolution la substance cherchée.

Toutes les solutions alcooliques sont soumises à la distillation au bain-marie. Le résidu sirupeux est délayé avec 0,25 de son volume d'alcool à 0,90. Mis dans un endroit frais, il donne, au bout de vingt-quatre ou de quarante-huit heures, des cristaux grenus, que l'on recueille sur un filtre et que l'on épure en les délayant avec de l'alcool froid à 0,65; on les lave sur un filtre par l'alcool de 0,70 à 0,85.

On les fait alors redissoudre à saturation dans l'alcool à 0,6, en chauffant le mélange au bain-marie. Le refroidissement donne des cristaux abondants et presque purs : ce sont des prismes groupés en sphéroïdes par la réunion de l'un de leurs bouts vers un centre commun. On achève l'épuration en redissolvant dans l'alcool et faisant cristal-

Digitized by Google

liser à deux reprises; on met enfin égoutter et dessécher dans le vide à 110 degrés centésimaux (1).

Propriétés et composition de la substance cristalline du café. — On ne saurait comprendre les propriétés que manifestent certaines réactions sur cette substance sans connaître sa composition.

Le principe incolore de la riche coloration verte réside dans l'acide que je nomme, par cette raison, *chloroginique*. Le composé cristallisable, ou *sel naturel* du café, est un chloroginate double de potasse et de caféine. Si on le frotte lorsqu'il vient d'être séché à 100 degrés sur une feuille de papier chaude encore, il s'électrise au point d'adhérer à une lame de couteau qu'on lui présente, et de s'y maintenir en flocons volumineux allongés.

Exposé à la chaleur, il n'éprouve aucune altération jusqu'à 150 degrés centésimaux; mais vers 185 degrés, il se fond, développe une belle coloration jaune, entre en ébullition, se gonfle au point d'occuper cinq fois son volume, et reste spongieux, jaunâtre, solide et friable. Chauffé jusqu'à 230 degrés, sa nuance brunit; il est alors en partie décomposé. Les vapeurs qui s'en dégagent donnent, en se condensant, des cristaux aiguillés de caféine. Si l'on chauffe davantage, la coloration brune devient plus intense, une nouvelle fluidification s'opère, des vapeurs abondantes alcalines s'exhalent, la masse se tuméfie de nouveau au point d'occuper un volume quadruple, ou vingt fois plus grand que celui des cristaux secs employés; le charbon très-léger, ainsi obtenu, reflète à sa superficie des couleurs irisées (2).

---

(1) Dans tous les traitements qui ont pour but l'extraction et l'épuration du nouveau composé cristallisable, on doit faire usage d'eau distillée exempte d'air et de traces d'ammoniaque; cette eau sert aussi à étendre l'alcool pur aux différents degrés; enfin, il convient de maintenir les solutions dans le vide ou sous des cloches en présence de l'acide sulfurique.

(2) Les phénomènes que nous venons d'indiquer ont été observés en opérant sur 1 décigramme de sel dans un tube ayant 5 millimètres de diamètre et $0^m,12$ de longueur.

Digitized by Google

C'est sans doute à la présence du chloroginate interposé dans la cellulose du périsperme que l'on doit attribuer surtout le gonflement des grains du café durant la torréfaction.

Ce sel double est à peine soluble dans l'alcool anhydre, même à chaud.

Sa solution, saturée à chaud dans l'alcool à 95 degrés, le laisse cristalliser, par le refroidissement, en prismes irradiés, sur quelques centres communs : plus soluble dans l'alcool à 85 degrés, sa cristallisation y est plus abondante par le refroidissement ; la solubilité augmente avec les proportions d'eau. L'eau pure en dissout plus encore, et cette solution, saturée à chaud, se prend en masse par le refroidissement. La solution froide, évaporée dans une capsule, laisse sortir graduellement une couronne de cristaux très-fins en groupes mamelonnés. La solution aqueuse, même en voie de cristallisation, s'altère à l'air, et se colore en jaune, puis en brun-verdâtre.

Les cristaux de chloroginate double chauffés légèrement, en contact avec la potasse, se colorent en rouge vermillon ou orangé ; chauffé davantage, le mélange se fond, prend une couleur jaune, dégage d'abondantes vapeurs ammoniacales, devient brun, etc.

Chauffé avec l'acide sulfurique monohydraté, le sel naturel du café développe une coloration violette intense et une pellicule bronzée. L'acide chlorhydrique produit des phénomènes analogues ; sous l'influence de l'acide azotique, une coloration jaune-orangée se manifeste.

Dans les solutions du chloroginate double, l'acétate de plomb donne un précipité jaune-verdâtre pâle, floconneux. L'acétate tribasique produit un précipité de forme semblable, mais de couleur jaune pur. L'azotate d'argent, seul, ne produit pas de changement ; mais, préalablement mêlé à une très-faible dose d'ammoniaque, il produit une coloration jaune qui vire au brun. Le liquide se trouble : bientôt

Digitized by Google

une pellicule d'argent métallique révivifié surnage, et peu à peu s'étend sur les parois du vase.

L'analyse immédiate du sel double peut être faite par plusieurs procédés : on détermine, à l'aide d'une incinération, la potasse qui est représentée, soit par 0,11 de carbonate, soit par la transformation de ce produit en sulfate.

Le composé, dissous et traité par l'acide sulfurique, en quantité équivalente à la potasse, puis évaporé au contact du marbre en poudre, donne du sulfate de potasse mêlé avec un chloroginate acide de caféine. L'alcool enlève ce composé organique, dont on peut précipiter l'acide par le sous-acétate de plomb. On extrait la caféine du liquide surnageant, rapproché, en lavant le résidu par l'alcool froid et traitant ce qui reste par l'alcool chaud; celui-ci, en refroidissant, laisse cristalliser la caféine.

On peut encore obtenir le chloroginate de plomb, soit en précipitant la solution alcoolique du sel normal par l'acétate tribasique de plomb et lavant le précipité, soit en broyant à froid le même sel avec un excès de protoxyde de plomb et d'eau. Dans ce dernier cas, la potasse restée dans le mélange rend soluble le chloroginate plombique, en formant, sans doute, un autre composé double; mais on détermine la désunion des parties par un courant d'acide carbonique introduit dans la liqueur filtrée. Cette solution retient la potasse et la caféine.

On peut en extraire celle-ci en évaporant à sec, lavant avec l'alcool froid le résidu, puis dissolvant dans l'alcool bouillant la caféine qui, après la filtration, apparaît en remplissant de ses aiguilles entre-croisées toute la hauteur du liquide.

Un quatrième moyen, beaucoup plus long, d'extraire la caféine du sel double, consiste à produire une altération de l'acide chloroginique sous les influences combinées de l'eau, de l'air et de l'ammoniaque. On fait dissoudre 1 gramme du composé naturel dans 10 centimètres cubes d'eau; on y

Digitized by Google

ajoute deux ou trois gouttes d'ammoniaque, et l'on place dans une capsule plate, sous une cloche où l'air se renouvelle très-lentement. Les colorations jaune, verte et vert-bleuâtre se succèdent en vingt-quatre heures; puis le mélange acquiert une teinte brune. De temps à autre on ajoute un peu d'eau pour compenser l'évaporation. Au bout de vingt à trente jours, la transformation est achevée; on fait évaporer à sec, et l'on obtient un résidu brun très-foncé qui, détaché en écailles, mis en poudre et traité par l'alcool anhydre bouillant, laisse dissoudre, puis cristalliser la caféine par le refroidissement. L'altération du sel double par la chaleur, poussée seulement au point de brunir légèrement la matière boursoufflée, permet encore d'extraire une partie notable de la caféine par l'alcool anhydre bouillant.

Extraction et propriétés de l'acide chloroginique. — Le chloroginate de plomb, épuré complétement à l'aide de lavages à l'eau distillée bouillie, et décomposé par un courant d'acide sulfhydrique, donne une solution qui, rapidement évaporée, laisse une cristallisation confuse d'acide chloroginique.

Cet acide, purifié par de petites quantités d'alcool anhydre, est blanc, soluble dans l'alcool anhydre, plus soluble dans l'alcool affaibli, très-soluble dans l'eau, difficilement cristallisable. Sa solution aqueuse, presque saturée à la température de l'ébullition, ne cristallise que très-lentement en prismes microscopiques, irradiés de centres communs, offrant, au bout de vingt à trente jours, des agglomérations nombreuses en sphérules de 1 à 2 millimètres de diamètre.

L'acide chloroginique dissous dans l'eau est doué d'une réaction acide prononcée; il rougit fortement le tournesol; c'est le principe actif des colorations diverses signalées plus haut dans le sel normal du café. Chauffé dans un tube, il se fond, se colore en jaune, entre en ébullition, laisse un charbon en couche mince et brillante; sa vapeur se con-

Digitized by Google

dense en un liquide brun qui, chauffé rapidement, laisse un charbon en couche très-mince réfléchissant de vives couleurs irisées.

Les analyses élémentaires de l'acide chloroginique, du chloroginate double de potasse et de caféine, et du chloroginate de plomb, ont donné les résultats suivants :

Acide chloroginique.

Carbone.....	56,0
Hydrogène.....	5,6
Oxygène.....	38,4
	100,0

Chloroginate de potasse et de caféine.

Carbone.....	50,74
Hydrogène	5,38
Azote.....	9,12
Potasse.....	7,50
	100,00

Composition immédiate du chloroginate double.

Acide chloroginique..	63,5
Potasse.....	7,5
Caféine.	29,0
	100,0

Composition immédiate du chloroginate de plomb.

Acide chloroginique..	40
Oxyde de plomb.....	60
	100

Poids equivalent de l'acide chloroginique.

C^{14}.....	1050	ou	84
H^{8}.....	100		8
O^{7}.....	700		56
	1850		148

Digitized by Google

Poids équivalent du chloroginate de plomb.

Acide.....	1850	148
Oxyde 2 PbO.....	2780	224
	4630	372

Il faudrait sans doute des analyses plus nombreuses sur des combinaisons variées pour établir définitivement la composition et les formules de l'acide chloroginique et des chloroginates; mais les faits suivants resteront démontrés, indépendamment de toute vérification ultérieure :

1°. Une partie seulement de la caféine est à l'état libre dans le café : on peut l'extraire directement, à froid, et très-pure;

2°. La caféine remplit un rôle basique dans la composition du sel double naturel;

3°. Les altérations de l'acide organique, spontanées ou produites par une élévation de température, mettent la caféine en liberté, et laissent engagé avec la potasse un acide brun, produit de la transformation ultime;

4°. Le sel double préexiste à l'état normal dans le périsperme des fruits du caféier;

5°. Parmi les propriétés curieuses de l'acide chloroginique, le pouvoir remarquable qu'il possède de développer une coloration verte très-intense, ajoute de l'intérêt à la découverte du composé cristallisable que ses rapides et variables transformations avaient jusqu'alors empêché de saisir.

Essence aromatique du café.

Parmi les propriétés qui distinguent nos aliments, l'une des plus importantes, l'arome qu'exhalent ces substances, joue un grand rôle dans les phénomènes qui précèdent et accompagnent les actes de la nutrition : il avertit nos sens, et, quelque fugace et diversifié qu'il puisse être, il nous laisse cependant un souvenir capable de fixer notre choix en présence de plusieurs aliments.

M. Chevreul, dans un Rapport spécial, a montré com-

Digitized by Google

ment on doit tenir compte de l'arome et de la sapidité du bouillon, et par quels moyens on les peut développer.

C'est parmi les acides volatils, les composés éthériformes ou alcooliques, les diverses substances entraînées par les vapeurs aqueuses et ammoniacales, et plus généralement encore dans les huiles essentielles, que résident les causes plus ou moins complexes des odeurs, et en particulier de l'arome propre aux composés alimentaires.

Le café renferme des essences aromatiques que retient fortement l'huile grasse obtenue par les procédés précédemment décrits; les propriétés aromatiques sont modifiées par les effets d'une torréfaction, même légère.

C'est dans ce dernier état qu'il importait, en vue des applications, d'extraire, d'étudier et de peser ces corps odorants. Dans l'espoir d'atteindre le but que je m'étais proposé, profitant de l'habile collaboration de M. Poinsot, je fis un grand nombre de distillations sur plusieurs sortes commerciales de cafés, torréfiés à des degrés différents, dans des appareils de verre, en fractionnant les produits; ceux-ci étaient condensés à plusieurs températures, depuis + 90 degrés centésimaux jusqu'à 2 ou 3 degrés au-dessous de zéro.

L'infusion obtenue à l'aide de l'eau chaude filtrée sur le café en poudre, dans le rapport de 1 litre d'eau pour 100 grammes de café, était mise dans le premier ballon de l'appareil : au bout de deux heures d'ébullition, elle ne conservait plus sensiblement d'odeur agréable; le premier récipient, dont la température s'était graduellement élevée par la condensation ménagée de la vapeur depuis 25 jusqu'à 90 degrés, contenait une eau distillée occupant environ 0,1 du volume de l'infusion. Cette eau, légèrement colorée en jaune, était surnagée par quelques gouttes d'une essence concrète blanche; cette essence, de même que la masse du liquide distillé, était presque entièrement dépourvue de l'arome agréable dont les traces se confondaient avec l'o-

Digitized by Google

deur que développent plusieurs matières animales altérées par l'ébullition.

Le deuxième récipient, maintenu à la température de 25 à 30 degrés, avait reçu à peu près 0,01 du volume de l'infusion en un liquide qui s'était distillé lorsque l'on avait laissé la température du vase précédent s'élever jusqu'à 90 degrés. Ce liquide, surnagé par des quantités minimes d'essence concrète, exhalait une odeur aromatique, agréable, rappelant celle du café employé, et tellement intense, qu'il suffisait de quelques gouttes de cette eau pour communiquer, à une tasse de lait ou d'un liquide inodore, l'arome agréable du café.

Les particules d'essence concrète n'étaient pas la source de cet arome; car, isolées et lavées, elles n'en retenaient plus sensiblement : ainsi la matière aromatique était entièrement soluble dans l'eau.

Le troisième récipient, refroidi à plusieurs degrés au-dessous de zéro, condensait quelques gouttes d'une eau exhalant l'odeur mixte du café et des carbures d'hydrogène pyrogénés; la dernière odeur surtout se retrouvait dans le quatrième récipient également refroidi, mais dont les parois avaient condensé seulement des traces humides; enfin la même odeur empyreumatique était plus dominante encore dans les produits aériformes sortis du quatrième récipient. La présence du carbure d'hydrogène dans les gaz fut rendue manifeste en les faisant passer dans un tube à boules, plein d'acide sulfurique concentré : cet acide se colora en brun intense, et un dépôt de matière carbonacé eut lieu lorsqu'on étendit d'eau l'acide.

On peut reconnaître la présence et les proportions du carbone dans ces gaz, en les dirigeant au travers d'un tube à analyse élémentaire rempli de bioxyde de cuivre, et recueillant l'acide carbonique formé.

Les proportions des carbures très-volatils empyreumatiques, à odeur désagréable, augmentaient de plus en plus

Digitized by Google

lorsque la torréfaction du café avait été poussée depuis celle qui correspond à une perte en poids de 0,18, jusqu'à celle équivalente à une déperdition de 0,25 et au delà.

On voit qu'il est possible d'isoler le résidu et les produits d'une infusion de café, de façon à retenir, sous un volume réduit à $\frac{1}{100}$ environ, la plus grande partie des principes aromatiques. Ceux-ci sont complexes; on en peut extraire deux huiles essentielles odorantes. Il suffit, pour cela, d'agiter fortement l'eau distillée qui les recèle, avec 0,20 de son volume d'éther; on laisse pendant quinze minutes en repos, puis on enlève, à l'aide d'une pipette, la solution éthérée surnageante. On renouvelle quatre fois cette opération, et l'évaporation de l'éther laisse une huile colorée en jaune orangé, dont l'odeur très-forte rappelle une partie de l'arome plus ou moins dominant dans toutes les variétés de café. 10 grammes de l'eau distillée du moka ont donné 1 centigramme de cette huile, en tenant compte de la déperdition pendant l'évaporation de l'éther, déperdition que l'on peut déterminer par une seconde dissolution dans l'éther de cette essence, pesée encore après une seconde évaporation. Cette huile essentielle est formée de deux parties: l'une, moins volatile et moins fluide, paraît résulter de l'altération de l'huile douée de l'odeur aromatique la plus agréable. Il est resté dans l'eau, agitée avec l'éther, une solution éthérée de la seconde essence, douée d'une odeur aromatique des plus suaves; ses proportions, faibles dans les qualités inférieures, fortes dans le café moka, paraissent constituer les principales différences entre les qualités commerciales. On peut l'extraire facilement, en plaçant des morceaux de chlorure de calcium dans les deux premiers récipients; la dissolution du chlorure élève la température dans ces vases à mesure que la vapeur s'y condense. Un troisième récipient, surmonté d'un tube plein de chlorure de calcium, refroidi à 20 degrés, retient, avec la solution saline, presque toute l'essence aromatique que l'on

Digitized by Google

extrait au moyen de l'éther. Le poids total de l'essence ainsi obtenue s'élève au plus à 2 dix-millièmes du poids du café, et on le comprend, puisqu'une goutte de cette huile répand dans toute une chambre une forte odeur de café.

Les qualités variables observées depuis longtemps dans les cafés du commerce tiennent, en très-grande partie sans doute, aux variétés cultivées et aux circonstances habituelles ou accidentelles de la végétation que présentent l'exposition, le sol, le terrain, les soins de la culture et les conditions atmosphériques. Il serait intéressant de chercher à déterminer les influences de ces causes diverses sur les qualités du produit.

Je me suis attaché à découvrir les principales différences entre deux sortes commerciales sur l'origine desquelles je ne pouvais conserver le moindre doute, le café martinique et le café moka.

Le premier est, ordinairement, en grains volumineux, offrant une face déprimée; quelques grains, roulés en ellipsoïdes, proviennent de fruits dont un des ovules était avorté : des grains, plus rares encore, ont une forme légèrement anguleuse dépendante de la présence et de la pression mutuelle de trois ovules dans le même fruit.

Le café moka diffère du précédent en ce que ses grains ont une couleur d'un gris jaunâtre; leur volume est moindre; leur forme, plus irrégulière, est très-généralement aplatie sur la face qui se trouvait en présence d'un deuxième grain dans chacun des fruits; quelques grains seulement sont arrondis, parce qu'ils se sont trouvés, chacun isolément, développés dans un fruit dont l'un des ovules est avorté.

Plusieurs caractères ont distingué le café moka de tous les autres : la matière grasse, un peu plus abondante, formait les 13 centièmes du poids total; elle avait une couleur jaunâtre, sa fluidité était plus grande; je n'ai pu la séparer qu'en deux parties ayant des points de fusion différents,

Digitized by Google

difficiles à déterminer. Elle retenait plus fortement une partie de l'essence aromatique, d'ailleurs plus suave, et en proportion plus forte.

La matière grasse du café martinique, extraite par le même moyen et épuisée par l'eau bouillante, est plus brune, moins fluide; on la peut séparer en quatre parties dont les points de fusion sont de 5, 20, 50 et environ 90 degrés centésimaux. Cette dernière partie ressemble à la cire des feuilles.

La présence d'une matière cireuse et la couleur verte des grains pourraient dépendre de l'époque de la récolte et du moment où le décorticage se serait opéré. On comprend qu'en enlevant la pulpe du fruit lorsqu'elle est remplie de sucs, le périsperme tout humide, en présence de l'air, doive éprouver certaines réactions que l'oxygène détermine; qu'ainsi le chloroginate éprouve partiellement la transformation verte, que les substances grasses s'altèrent, que l'essence, moins abondamment sécrétée, puisse s'altérer aussi et s'échapper en partie.

Ces hypothèses, conformes aux résultats de l'analyse, conduiraient à penser que l'on pourrait améliorer la qualité de certains cafés en les laissant venir à un état de maturité plus complète, avant de les décortiquer. Peut-être que si on laissait mûrir et dessécher une partie de la récolte, on obtiendrait une qualité analogue à ces mélanges de café moka avec des cafés verts, mélanges dont beaucoup de personnes préfèrent l'arome mixte à l'arome, plus suave cependant, du moka pur. Ce sujet intéressant, d'observations dans nos colonies, pourrait se terminer, en France, par des expériences analytiques.

L'influence de l'époque de la récolte et d'un mode particulier de décorticage me semble se manifester encore dans les résultats de la préparation d'une sorte toute particulière de café dite des Yungas, en Bolivie. Cette sorte est en grains volumineux réguliers et de couleur grise jaunâtre.

Digitized by Google

Sous ces apparences, on ne voit qu'une enveloppe légère dans laquelle ballotte un périsperme de même forme et marqué d'un sillon semblable, mais qui, ayant subi un retrait plus considérable par la dessiccation, est bien plus petit que les grains des cafés ordinaires. Pour obtenir cette sorte de café, on a dû le récolter et le décortiquer assez longtemps avant la maturité; c'est un café de fantaisie que les Boliviens préfèrent, sans doute par suite de l'habitude, quoiqu'il développe peu de l'arome suave qui caractérise le moka et plusieurs variétés généralement estimées.

En réunissant les divers résultats analytiques, on trouve que le café, dans l'état normal, présente approximativement la composition suivante :

Cellulose.	34
Eau hygroscopique.	12
Substances grasses	10 à 13
Glucose, dextrine, acide végétal indéterminé.	15,5
Légumine, caséine (glutine)?	10
Chloroginate de potasse et de caféine.	3,5 à 5
Organisme azoté.	3
Caféine libre.	0,8
Huile essentielle concrète, insoluble dans l'eau.	0,001
Essence aromatique, fluide, à odeur suave, soluble dans l'eau, et essence aromatique moins soluble.	0,002
Substances minérales : potasse, chaux, magnésie, acides phosphorique, sulfurique, silicique, et traces de chlore.	6,697
	100

Il serait très-intéressant de connaître les effets spéciaux, dans l'économie animale, des substances bien caractérisées qui entrent dans la composition du café et ne se retrouvent dans aucune des matières proposées pour le remplacer : quelle est l'action de la caféine si peu altérable, du chloroginate double légèrement amer à l'arrière-bouche, peu stable en présence de l'oxygène, enfin des essences aroma-

Digitized by Google

tiques? C'est à nos savants praticiens qu'il appartient de nous éclairer sur ce point.

Mais déjà ils nous ont appris, et l'expérience de chaque jour le confirme, que le café, tout différent des boissons fortement alcooliques et des vapeurs narcotiques qui enivrent et engourdissent les sens, semble réunir ce qu'on peut trouver d'agréable dans les sensations des deux ordres, tout en excitant les facultés de l'intelligence.

En supposant que la cause principale des effets spéciaux du café ne réside pas dans l'arome si agréable, si diffusible, on ne peut douter, du moins, que cette propriété n'ait la plus grande influence sur la valeur commerciale, car cette valeur se fixe en raison de la plus ou moins grande force et de la suavité de l'arome dans chaque variété; or, si l'on admettait, pour la quantité pondérale de l'essence, seulement les deux tiers du prix du café, on devrait attribuer à la principale huile essentielle la valeur énorme de 10 000 francs le kilogramme!

NOTE ADDITIONNELLE AU MÉMOIRE SUR LES COMBINAISONS DE L'ACIDE SULFURIQUE AVEC L'EAU (1);

PAR M. A. BINEAU.

Pour me conformer au désir que m'ont exprimé quelques industriels, j'ai construit une nouvelle Table de correspondance entre les degrés aréométriques et la force réelle des acides sulfuriques aqueux. On la trouvera ci-dessous. Il doit être bien entendu qu'elle se rapporte aux acides purs. Du reste, malgré les matières étrangères contenues dans l'acide sulfurique du commerce, je n'ai trouvé que des différences de quelques millièmes, quand j'ai eu l'occa-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIV, page 337.

Digitized by Google

sion de comparer les résultats analytiques donnés par des opérations précises, et ceux qui étaient déduits de la densité observée dans les acides commerciaux étendus d'à peu près le tiers de leur poids d'eau.

Dans la Table (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXIV, p. 348), l'acide commercial ordinaire pris pour point de départ a été supposé contenir 5 pour 100 d'eau en excès. Ce n'était qu'une donnée arbitraire, à laquelle je m'étais arrêté après le souvenir d'expériences déjà anciennes. J'ai examiné récemment divers acides provenant chacun d'une opération distincte. En voici le résultat.

Quatre acides sortant de la même fabrique, et livrés au commerce pour les usages courants, ont présenté pour la proportion réelle d'acide à 1 équivalent d'eau, 92,6, 92,5, 93,6, 92,6 pour 100. Deux produits d'une seconde usine en contenaient, l'un 92,6, l'autre 94,6 pour 100. La moyenne de ces six nombres est 93,1.

Une qualité spéciale d'acide sulfurique est fournie aux fabricants de carmin, d'indigo. J'y ai trouvé, en examinant trois échantillons différents, 97,5, 92,2 et 97,1 pour 100 d'acide monohydraté. Pour la dissolution de l'indigo, il importe en effet que l'acide soit très-concentré.

La Table qui suit offre la composition des acides sulfuriques aqueux, rapportée tant à l'acide monohydraté qu'à l'acide anhydre. On n'y verra pas figurer l'acide commercial, pour lequel on ne pourrait prendre qu'un type tout à fait arbitraire.

Digitized by Google

DEGRÉ à l'aréomètre.	DENSITÉ.	LA TEMPÉRATURE ÉTANT 0°.		LA TEMPÉRATURE ÉTANT 15°.	
		Acide monohydraté pour 100.	Acide anhydre pour 100.	Acide monohydraté pour 100.	Acide anhydre pour 100.
5°	1,036	5,1	4,2	5,4	4,5
10	1,075	10,3	8,4	10,9	8,9
15	1,116	15,5	12,7	16,3	13,3
20	1,161	21,2	17,3	22,4	18,3
25	1,209	27,2	22,2	28,3	23,1
30	1,262	33,6	27,4	34,8	28,4
33	1,296	37,6	30,7	38,9	31,8
35	1,320	40,4	33,0	41,6	34,0
36	1,332	41,7	34,1	43,0	35,1
37	1,345	43,1	35,2	44,3	36,2
38	1,357	44,5	36,3	45,5	37,2
39	1,370	45,9	37,5	46,9	38,3
40	1,383	47,3	38,6	48,4	39,5
41	1,397	48,7	39,7	49,9	40,7
42	1,410	50,0	40,8	51,2	41,8
43	1,424	51,4	41,9	52,5	42,9
44	1,438	52,8	43,1	54,0	44,1
45	1,453	54,3	44,3	55,4	45,2
46	1,468	55,7	45,5	56,9	46,4
47	1,483	57,1	46,6	58,2	47,5
48	1,498	58,5	47,8	59,6	48,7
49	1,514	60,0	49,0	61,1	50,0
50	1,530	61,4	50,1	62,6	51,1
51	1,546	62,9	51,3	63,9	52,2
52	1,563	64,4	52,6	65,4	53,4
53	1,580	65,9	53,8	66,9	54,6
54	1,597	67,4	55,0	68,4	55,8
55	1,615	68,9	66,2	70,0	57,1
56	1,634	70,5	57,5	71,6	58,4
57	1,652	72,1	58,8	73,2	59,7
58	1,671	73,6	60,1	74,7	61,0
59	1,691	75,2	61,4	76,3	62,3
60	1,711	76,9	62,8	78,0	63,6
61	1,732	78,6	64,2	79,8	65,1
62	1,753	80,4	65,7	81,7	66,7
63	1,774	82,4	67,2	83,9	68,5
64	1,796	84,6	69,0	86,3	70,4
65	1,819	87,4	71,3	89,5	73,0
65,5	1,830	89,1	71,2	91,8	74,9
65,8	1,837	90,4	73,8	94,5	77,1
66	1,842	91,3	74,5	100,0	81,6
66,2	1,846	92,5	75,5	"	"
66,4	1,852	95,0	77,5	"	"
66,6	1,857	100,0	81,6	"	"

Nota. — Je dois signaler deux erreurs, qui se sont glissées dans le Mémoire mentionné tome XXIV, savoir :

Page 342, ligne 25, *après* acide sulfurique, *ajoutez* fumant.

Page 346, ligne 6, *au lieu de* $a = d + 0,0006\,t - 0,788$, *lisez*

$$a = \frac{d + 0,0009\,t - 0,788}{1,2}.$$

Digitized by Google

SIPHON A ÉCOULEMENT INTERMITTENT, DESTINÉ AU LAVAGE DES PRÉCIPITÉS ;

PAR M. N. BLOCH,
Préparateur de Chimie à la Faculté des Sciences de Strasbourg.

L'instrument que je propose est spécialement destiné au lavage des précipités. Sa construction et son maniement sont extrêmement simples et faciles.

Le siphon à écoulement intermittent se compose :

1°. D'un siphon proprement dit A (*voyez Pl. I*).

2°. D'un tube enveloppant, que j'appelle *tube régulateur* B.

Ces deux tubes placés l'un dans l'autre sont munis d'un bon bouchon, et fixés sur un flacon plein d'eau distillée, comme l'indique la figure.

Pour faire fonctionner l'appareil, on remplit le flacon jusqu'à une hauteur quelconque, on y fixe le siphon au moyen du bouchon, on l'amorce en aspirant avec la bouche. On place alors l'entonnoir sous le siphon, de manière que l'extrémité du tube régulateur affleure le niveau de l'eau dans l'entonnoir. Dans cette position l'appareil fonctionne. En effet, le siphon A fonctionne en vertu de la pression de la colonne CD, plus la différence de longueur des deux branches GH. (Jusqu'à présent nous supposons l'ouverture du tube régulateur libre, et l'air arrive par l'intérieur du tube B pour déplacer l'eau du flacon.) Aussitôt que l'extrémité du tube régulateur se trouve bouchée en affleurant le niveau de l'eau dans l'entonnoir, le siphon fonctionne encore jusqu'à ce que la pression de l'air intérieur, augmentée de la pression de la colonne d'eau CD et de celle de la colonne GH, soit égale à la pression atmosphérique extérieure. En ce moment le siphon s'arrête.

La pression de l'air extérieur est égale à la pression de

Digitized by Google

l'air intérieur, plus la pression de la colonne CD et de celle de la colonne GH.

La pression de l'air intérieur est égale à la pression de l'air extérieur, moins la pression de la colonne d'eau (CD + GH). Comme le tube régulateur est bouché par un corps liquide, ce liquide, qui est de même nature que celui que contient le flacon, doit monter dans le tube régulateur à une hauteur précisément égale à la dépression de l'air contenu dans le flacon, dépression qui est, comme nous l'avons vu, CD + GH ou bien EF + FI.

Dès que le niveau de l'eau dans l'entonnoir baisse, la colonne d'eau IE, renfermée dans le tube enveloppé, tombe et laisse ainsi accès à l'air. De cette manière, il y a intermittence et l'on obtient un niveau constant.

La courbure des deux tubes concentriques se fait d'une manière très-facile. Pendant que les tubes sont encore droits, on les place l'un dans l'autre. On remplit alors de sable bien sec l'intervalle qu'ils forment, et on les courbe sur des charbons à la manière ordinaire.

Le même instrument peut servir à la filtration et à la concentration d'une grande quantité de liquide. Alors on remplit le flacon du liquide même qu'il s'agit de concentrer ou de filtrer, et l'on fait communiquer le siphon avec le filtre ou le vase évaporatoire à la manière déjà indiquée.

J'ai fait construire un appareil fondé sur le même principe. Cet appareil, dénommé *réservoir à écoulement intermittent,* destiné à obtenir un niveau constant sous toutes les pressions, a été l'objet d'un brevet.

Digitized by Google

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MARS 1849.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim.	ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	748,72	+ 4,4		751,42	+ 7,4		754,53	+ 8,1		760,60	+ 4,8		+ 8,3	+ 1,2	Très-nuageux.....	O. fort.
2	765,30	+ 8,0		765,54	+10,2		765,52	+10,6		767,51	+ 5,7		+10,7	+ 2,7	Couvert.....	O. S. O.
3	769,28	+ 6,4		769,60	+10,6		769,11	+11,7		770,56	+ 7,9		+11,8	+ 3,7	Couvert.....	O. S. O.
4	771,61	+ 7,9		771,25	+10,5		770,19	+11,4		770,13	+ 6,6		+11,6	+ 1,5	Beau.....	S.
5	771,26	+ 5,5		770,81	+10,6		770,46	+12,4		772,69	+ 8,9		+12,6	+ 2,4	Beau.....	O. N. O.
6	774,10	+ 9,0		772,75	+11,4		771,31	+12,8		769,39	+ 6,4		+13,1	+ 5,5	Couvert.....	O. N. O.
7	764,71	+ 7,9		762,72	+12,2		760,49	+12,7		758,73	+ 8,8		+13,0	+ 3,9	Nuageux.....	O. S. O.
8	755,55	+ 6,4		754,71	+ 6,7		753,31	+ 6,5		753,11	+ 3,0		+ 6,7	+ 5,8	Couvert.....	S. O.
9	755,22	+ 2,3		755,97	+ 3,4		755,58	+ 4,8		757,04	+ 0,1		+ 4,9	+ 0,9	Couvert.....	N. O.
10	763,69	— 0,8		764,70	+ 3,3		764,77	+ 5,7		767,83	+ 1,2		+ 6,3	— 1,1	Vapeurs épaisses.....	N. O.
11	770,48	+ 1,8		770,10	+ 5,8		770,15	+ 5,5		769,06	+ 3,8		+ 6,5	0,0	Beau.....	N. O.
12	765,38	+ 6,4		764,20	+ 6,4		763,12	+ 6,6		762,30	+ 7,5		+ 7,5	+ 2,7	Pluie.....	S. O.
13	760,22	+ 8,6		759,42	+10,6		758,91	+11,6		762,70	+ 6,4		+12,4	+ 7,3	Couvert.....	O.
14	765,40	+ 5,3		765,09	+ 6,3		764,13	+ 7,1		765,25	+ 5,8		+ 7,2	+ 3,3	Couvert.....	N. O.
15	766,08	+ 5,9		765,92	+ 8,3		765,86	+ 8,2		765,41	+ 7,5		+ 8,9	+ 4,8	Couvert.....	S. S. E.
16	765,37	+10,0		765,48	+12,0		764,70	+13,3		765,22	+10,6		+13,4	+ 6,5	Couvert.....	S. O.
17	765,83	+ 9,4		765,40	+10,5		764,23	+12,0		763,80	+ 9,5		+11,6	+ 8,1	Couvert.....	O.
18	761,50	+ 6,0		760,90	+ 8,0		759,22	+11,2		758,49	+ 7,7		+11,3	+ 4,8	Vaporeux.....	N. O.
19	757,13	+ 7,1		756,97	+ 8,8		756,86	+11,8		756,67	+ 7,3		+11,9	+ 6,3	Couvert.....	E. N. E.
20	759,84	+ 5,5		759,97	+ 7,9		760,10	+10,0		762,23	+ 7,2		+10,1	+ 2,7	Beau.....	N. E. fort.
21	764,44	+ 5,6		764,18	+ 9,3		762,93	+10,7		762,69	+ 4,9		+10,8	+ 0,8	Beau.....	N.
22	759,98	+ 4,8		758,30	+ 8,8		756,30	+11,7		755,71	+ 4,8		+12,1	+ 0,4	Vaporeux.....	N. N. E.
23	753,58	+ 5,1		753,09	+ 7,2		752,02	+ 5,8		753,38	+ 2,4		+ 7,3	+ 1,4	Couvert.....	E. N. E. fort.
24	753,70	+ 1,2		753,02	+ 3,8		752,21	+ 4,4		752,82	+ 0,2		+ 5,1	— 0,9	Très-nuageux.....	N. N. O.
25	749,91	— 0,2		750,12	+ 2,2		750,51	+ 3,1		752,10	— 0,7		+ 3,7	— 1,7	Très-nuageux.....	E. N. E.
26	753,17	0,0		753,13	+ 2,6		752,14	+ 4,2		751,94	+ 3,1		+ 4,7	— 1,7	Couvert.....	N. E.
27	744,88	+ 3,5		744,34	+ 4,2		742,12	+ 3,9		740,87	+ 2,5		+ 4,6	+ 2,6	Couvert.....	N. E.
28	738,17	+ 2,2		738,64	+ 6,8		739,19	+ 6,5		740,77	+ 5,6		+ 7,0	+ 0,8	Couvert.....	S. S. E.
29	741,63	+ 7,2		742,42	+ 9,6		742,18	+10,6		742,75	+ 5,6		+11,5	+ 3,3	Éclaircies.....	S.
30	742,48	+ 9,0		742,20	+13,3		742,16	+13,9		745,40	+ 8,2		+14,9	+ 2,9	Nuageux.....	S.
31	749,49	+10,5		749,51	+15,0		749,36	+15,5		749,82	+ 8,3		+16,0	+ 3,5	Quelques nuages.....	S. S. E.
1	763,94	+ 5,7		763,95	+ 8,6		763,54	+ 9,7		764,76	+ 5,3		+ 9,0	+ 2,7	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	763,72	+ 6,6		763,35	+ 8,5		762,73	+ 9,7		763,11	+ 7,3		+10,1	+ 4,7	... Moy. du 11 au 20	Cour. 3,076
3	750,13	+ 4,4		749,90	+ 7,5		749,19	+ 8,2		749,84	+ 4,1		+ 8,9	+ 1,0	... Moy. du 21 au 31	Terr. 2,491
	758,97	+ 5,5		758,77	+ 8,2		758,18	+ 9,2		758,93	+ 5,5		+ 9,6	+ 2,7	... Moyenne du mois.....	+ 6°,2

Digitized by Google

RECHERCHES SUR LES CAUSES DU GOITRE ET DU CRÉTINISME;

PAR M. J. GRANGE.

Note faisant suite au travail présenté à l'Institut, dans la séance du 9 octobre 1848, et ayant pour titre : *Analyses des eaux de la vallée de l'Isère sur les terrains talqueux, anthracifères et crétacés* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIV, page 464).

Dans notre premier Mémoire, nous avons étudié la composition des eaux dans le département de l'Isère, et, nous appuyant sur des observations géologiques incontestables, nous avons admis que la constitution et la nature minéralogique des terrains ont une influence directe sur le développement du goître et du crétinisme. Une série d'analyses nous a même porté à considérer les sels de magnésie comme la cause immédiate de ces affections, nous réservant toutefois d'appeler l'analyse à juger en dernier ressort une question qui ne peut être vidée que par des travaux comparatifs sur la composition des eaux, sur la nature du sol, sur les conditions hygiéniques au milieu desquelles vivent les populations frappées par ces maladies.

Ce travail a attiré l'attention de plusieurs savants, qui ont bien voulu appuyer de leur autorité les recherches auxquelles je me suis livré, et m'ont engagé à poursuivre mes investigations en encourageant les espérances qu'elles ont fait naître dans mon esprit. Je citerai principalement, parmi les médecins physiologistes, M. Dumas et M. Orfila, et parmi les géologues, M. Elie de Beaumont et M. Billet, archevêque de Chambéry.

Quelques personnes m'ont fait des objections, auxquelles ce Mémoire va répondre; et les arguments que je vais présenter auront peut-être d'autant plus de poids dans leur esprit, que je les puiserai en grande partie dans une Note très-importante que M. Billet a publiée en Savoie, et qui m'était entièrement inconnue à l'époque où j'ai fait mes

Digitized by Google

premières recherches. On ne devra pas s'en étonner; car, ainsi que je l'ai dit dans mon premier Mémoire, mon but avait été d'examiner les modifications que présente la composition des eaux qui descendent des glaciers et parcourent divers terrains avant de se perdre dans l'Isère. Ce sont les analyses que j'ai faites qui m'ont conduit à appeler l'attention des savants sur ce fait remarquable, que le goître et le crétinisme sont endémiques sur les terrains magnésiens des Alpes, des Pyrénées, des Andes, et que, dans la vallée de l'Isère, les eaux des villages infestés par ces maladies contiennent des quantités notables de sels magnésiens.

Nous donnerons tout d'abord une copie de la lettre que M. Billet a bien voulu nous écrire, et nous la ferons suivre d'une analyse des faits et des observations les plus remarquables que contient la Note publiée par ce savant géologue, et qui répondent d'une manière péremptoire à un grand nombre d'objections.

Copie d'une lettre, en date du 13 *janvier* 1849, *adressée à M. Jules Grange, par M. l'archevêque de Chambéry.*

J'ai lu avec plaisir votre analyse des eaux de la vallée de l'Isère, insérée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIV, page 464. Je me suis aussi un peu occupé de la cause du goître et du crétinisme. En 1844, le ministre des affaires internes de nos États se trouvant ici, je l'ai engagé à établir à Turin une Commission spécialement chargée de faire des recherches sur cette question importante; il a agréé ma proposition. La Commission a été instituée; elle a fait un recensement des sujets atteints de ces deux maladies dans les localités qui y sont principalement exposées: elle doit publier bientôt le résultat de ses travaux. En attendant, j'ai réuni moi-même les éléments du recensement fait dans les diocèses de Chambéry et de Maurienne. La Société académique de Savoie les ayant fait

Digitized by Google

imprimer, j'ai l'honneur de vous en adresser un exemplaire par ce courrier. Vous y trouverez peut-être quelques observations utiles à vos recherches.

Je suis très-porté à penser, comme vous l'énoncez dans votre Mémoire, que la magnésie ou les sels de magnésie sont la principale cause de ces deux maladies. Je crois avoir prouvé, dans mon Mémoire, qu'elles sont comme inhérentes au sol où on les trouve; que les terrains sont toujours talqueux ou anthracifères; que le goître et le crétinisme cessent dès qu'on arrive sur le calcaire compacte sans mélange d'argile. Je vous engage donc à continuer vos recherches, parce que je crois que *vous êtes sur la voie d'une grande découverte.* Il faudrait maintenant chercher à établir des filtres économiques propres à dépouiller les eaux de tous les sels magnésiens dont elles peuvent être chargées. L'expérience pourrait ainsi, peu à peu, confirmer vos conjectures et décider cette importante question. Si vous parveniez à obtenir ce résultat, la société vous serait infiniment redevable.

J'ai l'honneur, etc.,

ALEXIS, archevêque de Chambéry.

Dans la Note de M. Billet, nous trouvons un recensement très-curieux des sujets affectés de goître et de crétinisme. Dans ces tableaux, on a eu soin de séparer les sujets atteints de goître seul, de crétinisme seul, et ceux qui sont frappés à la fois de ces deux infirmités. Ce recensement a été fait pour les deux sexes, et a spécialement pour but de faire apprécier les effets des moyens prophylactiques ou thérapeutiques que l'on devra employer pour apporter une barrière à ces redoutables maladies.

Le diocèse de Chambéry comprend une population de 176 146 individus, dans laquelle on compte 1 187 personnes atteintes de goître ou de crétinisme, environ 6,73 sur 1 000. Dans le diocèse de Maurienne, le nombre des personnes atteintes est de 5 587 sur 63 156, soit 88,46 sur 1 000.

Digitized by Google

Sur 1 187 individus frappés dans le diocèse de Chambéry, on compte 818 cas de goître seul, 163 de crétinisme seul, 206 de goître uni au crétinisme. Dans le diocèse de Maurienne, on trouve 4 010 cas de goître seul, 296 de crétinisme seul, et 1 281 de goître uni au crétinisme. Dans les deux diocèses, le nombre des cas de goître seul est environ le double des deux autres sommes réunies.

Le nombre des crétins-goîtreux est de 558 sur 1 000 dans le diocèse de Chambéry, et de 815 sur 1 000 dans celui de Maurienne. Les malheureux crétins sont extrêmement exposés au développement du goître.

Sur 818 individus atteints de goître seul dans le diocèse de Chambéry, on compte 515 filles et seulement 303 garçons. Dans la Maurienne, sur 4010 individus atteints de goître seul, on compte 2 170 filles et 1 840 garçons. Évidemment les femmes sont plus sujettes au goître que les hommes. On attribue cette différence à leur tempérament plus délicat, à la gestation, à leur vie casanière, et enfin à ce qu'elles boivent le plus souvent de l'eau pure et rarement du vin (cause qui me parait avoir la plus grande influence). On compte à peu près le même nombre de crétins dans les deux sexes : en Maurienne, on compte par exemple 785 femmes et 783 hommes atteints de crétinisme.

Ainsi que nous l'avions observé nous-même, l'âge où le goître se développe le plus fréquemment est de huit à quinze ans, rarement plus tard. Les cas de goître congénial sont à peine connus. Le crétinisme est, au contraire, presque toujours congénial, contrairement à l'opinion de l'illustre de Saussure; il est vrai qu'on peut lutter avec quelque succès contre le principe de cette infirmité, comme l'attestent les beaux travaux faits en Suisse pour l'amélioration de cette classe malheureuse.

Le recensement fait dans les diocèses de Chambéry et de Maurienne établit d'une manière péremptoire que le goître et le crétinisme ne sont véritablement endémiques que sur

Digitized by Google

des terrains limités et bien déterminés. Partout ailleurs, ces affections sont, pour ainsi dire, sporadiques, et ne frappent que 1 individu sur 3000. Sur les terrains de schistes argileux, le nombre des individus atteints devient infiniment plus considérable.

Nous diviserons les terrains de la Savoie comme nous l'avons fait pour les terrains du département de l'Isère; c'est le même sol géologique.

Nous distinguerons les terrains talqueux formant les sommets les plus élevés de la grande chaîne des Alpes occidentales; les terrains anthracifères, terrains des schistes argilo-calcaires de M. Billet, et qui comprennent la plus grande partie de la Maurienne; et enfin les terrains crétacés, calcaires, jurassiques et néocomiens. Entre ces deux derniers groupes, M. Billet signale, comme nous l'avons fait dans notre Mémoire, des terrains d'alluvions formés par des déblais de roches provenant de tels ou tels groupes géologiques, et présentant, suivant la nature minéralogique du sol, les conditions favorables au développement du goître.

Tous les villages situés sur les terrains jurassiques et néocomiens sont exempts de goître et de crétinisme. Nous avions fait une observation parfaitement semblable; nous ne citions qu'une véritable exception sur un calcaire dolomitique.

Sur le terrain anthracifère, au contraire, comprenant des schistes argileux au bas des vallées, des schistes talqueux et des schistes micacés aux parties supérieures, et accidentellement des gneiss, des amphiboles, des calcaires dolomitiques, des gypses et de l'anthracite, toutes les populations sont frappées de la manière la plus remarquable. Dans la Maurienne, sur quatre-vingt-trois paroisses, il y en a soixante-quatorze situées sur ce terrain anthracifère ou des schistes argileux, dans lesquelles les individus affectés forment la dixième partie de la population. Les neuf paroisses épargnées sont les plus élevées, et se trouvent géné-

Digitized by Google

ralement sur les schistes micacés et sur le terrain talqueux, terrain dans lequel la magnésie est à l'état de silicate insoluble. Ces faits rentrent complétement dans nos propres observations.

Sur les terrains d'alluvion, il y a un grand nombre de villages atteints; mais on ne rencontre plus sur ce sol de nature variable la généralité et la gravité de l'infection observées sur les terrains anthracifères.

M. Billet repousse toutes les opinions contradictoires émises sur la cause du développement du goître et du crétinisme, et fait cette observation remarquable, que nous ne saurions trop recommander à l'attention des médecins :

« Si ces deux maladies sont réellement inhérentes à cer-
» taines localités, ce qui est incontestable, ceux qui les
» attribuent à des causes générales, à des causes qu'on re-
» trouve partout, même dans les endroits où ces deux fléaux
» ont toujours été inconnus, ne nous paraissent pas être
» dans le vrai. Si elles dépendent du sol, comme l'on ne
» peut guère en douter, il paraît qu'il faut en chercher la
» cause primitive dans sa constitution géologique plutôt
» que dans sa configuration.

» Ce qui prouve que la configuration géologique n'en
» est pas la cause directe, c'est qu'on trouve souvent les
» mêmes conditions géographiques dans les endroits où le
» goître et le crétinisme sont inconnus; on rencontre sou-
» vent hors des terrains que nous avons signalés les mêmes
» formes de vallées, les mêmes ombrages, la même humi-
» dité, la même pauvreté dans la construction des chau-
» mières.

» Hors des terrains infestés, ces divers accidents réunis
» ou séparés occasionnent des fièvres, mais ils ne produisent
» ni le goître, ni le crétinisme. Ainsi, par exemple, les
» paroisses de la Chapelle-de-la-Chambre, de Saint-Avre-
» en-Maurienne, sont situées sur un terrain sec, loin des
» marais, exposées à un grand courant d'air; celles de
» Chavanne, de Planaise, de Coise, de Châteauneuf, de

Digitized by Google

» la Chapelle-Blanche, dans le diocèse de Chambéry, sont
» dans une situation agréable, ouverte de tous côtés, bien
» exposée au soleil en toutes saisons. Tous ces avantages
» n'ont pu jusqu'ici les assainir. »

M. Billet pense, comme nous, que toutes les conditions hygiéniques fâcheuses, telles que l'humidité, la mauvaise nourriture, la misère, etc., ajoutent à la gravité des affections endémiques, mais qu'elles n'en sont pas la cause directe : « Mais, dit-il, quelle est au fond la substance qui
» altère la nature du sol et lui procure des qualités nui-
» sibles? Est-ce l'argile, l'alumine, la magnésie, la silice,
» le talc, le gypse? La question est trop peu avancée pour
» que l'on puisse rien affirmer sur ce point. »

Nous nous bornerons à faire remarquer qu'en Savoie, du moins, plus un terrain est argileux, plus les cas de goître et de crétinisme y sont fréquents. Quoi qu'il en soit, il paraît que ce principe, dont nous ignorons la nature, est pris en dissolution et charrié mécaniquement par les eaux qui traversent certains terrains, et que c'est principalement par la boisson qu'il exerce son influence; c'est, du reste, une opinion très-généralement accréditée.

Notre travail de novembre dernier, qui indique les sels de magnésie comme la cause prochaine du goître, a-t-il répondu à cette question si nettement posée, et que nous ignorions alors? On a vu dans la lettre de M. Billet que cette réponse lui paraît réunir de grandes chances de succès et de vérité.

A Leyssand, à la Chapelle-Blanche, à Cruet, à Cluses, à Saint-Julien-de-Maurienne, on attribue le goître aux eaux qui forment un dépôt de tuf. Dans cette dernière localité, il existe une source, celle de Villard-Clément, dont les jeunes gens font quelquefois usage plusieurs mois avant la levée, afin de se procurer un goître suffisant pour les exempter du service militaire. On assure que le moyen est efficace. Ces eaux n'ont point encore été analysées. Le dépôt

Digitized by Google

de tuf contient 1 à 2 pour 100 de sel de magnésie, et probablement davantage, d'après des analyses que nous avons faites sur des dépôts semblables.

Au Puiset, commune de Planaise, sur dix-huit familles, l'une a une citerne, les autres s'abreuvent à une même source de mauvaise eau : la première est saine, toutes les autres sont gravement atteintes de goître et de crétinisme.

A Saint-Jean-de-Maurienne, il est bien connu que les eaux dites de Bourieux, qui sont très-argileuses, entretiennent le goître et le crétinisme dans la rue du même nom, tandis que la fontaine dite de la Pierre, qui vient des roches talqueuses ou amphiboliques, passe pour très-saine.

La petite commune de Saint-Jean-Pied-Gauthier n'a ni goître ni crétinisme, tandis que tous les villages voisins en sont atteints ; on attribue cette exemption à l'usage d'une eau légèrement ferrugineuse.

A Villart-Sallet, au village de Mollaret, on assure que les étrangers prennent tous le goître la première ou la seconde année, et l'on attribue cette affection à la qualité de l'eau.

M. le docteur Duclos, médecin de l'hospice des aliénés du Béton, cite un village où le goître augmente en été et diminue en hiver. On en donne une raison très-plausible : en hiver, on puise l'eau à un courant qui descend de la montagne ; en été, le ruisseau étant à sec, on va à une mauvaise source qui sort à quelque distance des habitations.

Ces faits, que nous empruntons à l'intéressante Note de M. Billet, montrent jusqu'à l'évidence que la cause du mal doit être recherchée dans la composition des eaux. C'est, du reste, l'opinion accréditée dans toutes les communes infestées par ces maladies.

M. Billet a observé, comme nous, que c'est dans le voisinage des terrains gypseux que l'on rencontre les communes les plus cruellement ravagées par les maladies endémiques. Nous avons fait remarquer dans notre premier Mémoire

Digitized by Google

que, dans les Alpes, ces terrains sont fortement magnésiens.

Le savant géologue de Chambéry combat, comme nous, et déclare inacceptable l'opinion qui fait attribuer aux eaux de neige, à la malpropreté, à la misère, à la stagnation de l'air, la cause de ces affections, parce que sur d'autres terrains, dont la configuration et l'exposition sont semblables, on rencontre des fièvres, des scrofules des maladies de la peau, mais jamais de goître et de crétinisme. Les pauvres sont plus gravement frappés que les riches, comme cela arrive, hélas! pour bien d'autres maladies. D'ailleurs ils ne boivent le plus souvent que de l'eau. Mais, on doit le dire, ces affections franchissent souvent le seuil des palais, et ont fait disparaître plusieurs familles puissantes.

M. Billet a cherché aussi des moyens prophylactiques, et je signalerai spécialement celui-ci : de construire des citernes auprès de chaque maison pour y recueillir les eaux de pluie qui doivent servir seules à l'alimentation. Nous avons proposé, nous, des réservoirs-filtres pour alimenter chaque village, et nous croyons ce moyen préférable. Comme moyens thérapeutiques, on cite un séjour prolongé hors du pays infesté et l'usage des eaux de Challes.

M. Dumas pense que la cendre jetée dans les réservoirs séparerait les sels de magnésie et assainirait les eaux. Nous ajouterons ici que nous tenons de l'obligeance de ce savant professeur un échantillon de calcaire de la Nouvelle-Grenade, qui appartient aux roches dominantes dans les pays à goître. Ces calcaires contiennent une petite quantité de magnésie; mais nous ferons remarquer ici qu'il est bien difficile de se former une opinion sur un échantillon isolé. Ce que nous pouvons affirmer positivement, c'est que les voyageurs qui ont parcouru ces plateaux et ces vallées y ont signalé des masses considérables de gypse et de dolomies; je signalerai spécialement M. Darwin, dans son ouvrage si remarquable sur l'Amérique du Sud.

Digitized by Google

Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche;

PAR MM. FIZEAU ET L. FOUCAULT.

(Présenté à l'Académie des Sciences, le 24 novembre 1845.)

PREMIÈRE PARTIE.

Lorsque deux rayons de lumière se rencontrent dans les conditions d'interférence, si l'on augmente par degrés leur différence de marche, on arrive toujours à une limite où le phénomène, après s'être affaibli progressivement, finit par cesser d'être appréciable. L'existence de cette limite s'explique naturellement par la non-homogénéité des faisceaux interférents, et est, en effet, d'autant plus reculée que ces faisceaux sont constitués par de la lumière plus simple.

Cependant la théorie indique encore une autre cause qui tôt ou tard doit mettre un terme aux phénomènes d'interférence, cause tout à fait indépendante de la complexité de la lumière, et qui se rattache au mode même suivant lequel se produisent les mouvements lumineux.

En effet, la non-interférence des rayons émanés de sources différentes, et celle de deux rayons de même origine, d'abord polarisés à angle droit, puis ramenés dans un même plan de polarisation, mais sans avoir été préalablement polarisés dans un plan unique, ont conduit à considérer le mouvement lumineux comme soumis à des perturbations très-fréquentes, lesquelles produiraient de tels changements dans la lumière envoyée successivement par un même point, que si la différence de marche de deux rayons interférents émanés de ce point devenait suffisamment grande, il n'y aurait plus aucun rapport persistant entre les deux mouvements qui se superposeraient; dès lors le phénomène cesserait entièrement.

Digitized by Google

Cette cause aurait-elle quelque influence sur la cessation des phénomènes d'interférence dans les conditions où on les observe ordinairement, ou bien la complexité de la lumière étant la seule cause influente, quelle est la limite de différence de marche que la simplicité toujours imparfaite de la lumière permet d'établir entre deux rayons sans rendre insensible l'interférence ?

Ces questions, intéressantes pour la théorie de la lumière, sont le principal sujet de ce travail. Cependant le mode d'observation que nous avons employé, permettant de suivre le phénomène d'interférence produit par les rayons ordinaire et extraordinaire des corps doués de la double réfraction dans le cas de grandes épaisseurs, nous donnait en même temps le moyen d'observer toutes les circonstances de la polarisation chromatique alors si complexe; nous n'avons pas négligé cette étude, qui se rattachait d'ailleurs directement à notre sujet. Ce mode d'observation est fondé sur les principes suivants :

Si un même lieu de l'espace est éclairé par deux faisceaux de lumière blanche émanant d'une même source, mais dont l'un est en retard sur l'autre, le phénomène des interférences ne peut être observé dans ce lieu que dans le cas où le retard est peu considérable. Au lieu de regarder immédiatement ce lieu lui-même, on peut le prendre comme centre de rayonnement, en isoler une partie limitée par un écran percé d'une fente et, au moyen d'un système réfringent convenable, former un spectre très-pur de la lumière qui en émane; ce spectre, dans lequel on distinguera toutes les raies de Fraunhofer, si c'est de la lumière solaire que l'on emploie, pourra être considéré comme constitué par la juxtaposition d'un nombre presque infini d'images de la fente rayonnante, chacune desquelles sera formée par des rayons d'une longueur d'ondulation particulière, mais les plus homogènes que l'on puisse obtenir; chacun des éléments du spectre représentera donc, par l'intensité des rayons particuliers qui le composent, le ré-

Digitized by Google

sultat de l'interférence de ces mêmes rayons dans le lieu de l'espace dont il est l'image : en observant le spectre entier, on observera donc simultanément dans toutes les espèces de lumière simple les phénomènes produits par la rencontre de deux faisceaux lumineux dans un même lieu de l'espace.

Ces spectres d'interférence sont généralement formés par des bandes obscures et des bandes lumineuses parallèles aux lignes fixes, et qui se succèdent alternativement dans toute la longueur du spectre, en nombre d'autant plus grand que la différence de marche est plus grande entre les faisceaux interférents. Plus resserrées vers l'extrémité rouge, ces bandes se dilatent de plus en plus en atteignant la partie plus dispersée qui se termine au violet; le passage des unes aux autres se fait par degrés insensibles, le milieu des bandes lumineuses présentant un éclat maximum qui décroît par degrés jusqu'au milieu des bandes obscures où, dans les circonstances les plus favorables, il y a absence complète de lumière. Si l'on observe les phénomènes successifs qui prennent naissance lorsque l'on fait croître d'une manière continue le retard de l'un des faisceaux sur l'autre, on voit les bandes obscures et brillantes naître alternativement à l'extrémité violette, traverser successivement les espaces occupés par les différentes couleurs, et disparaître en semblant sortir du spectre par l'extrémité rouge. D'abord assez larges pour qu'une seule d'entre elles couvre entièrement le spectre, elles se resserrent de plus en plus par l'effet du ralentissement que leur mouvement éprouve à mesure qu'elles se rapprochent de l'extrémité rouge; ces bandes sillonnent les diverses parties du spectre en nombre toujours croissant, et peuvent devenir tellement nombreuses, que nous avons réussi à en compter près de mille semblables dans la longueur du spectre solaire, et même à les apercevoir en nombre encore plus grand.

Nous allons maintenant rapporter les expériences que nous avons faites par cette méthode dans les diverses cir-

Digitized by Google

constances où nous avons pu l'appliquer, et les nombres que nous avons obtenus pour la différence de marche des faisceaux interférents.

Interférences produites par l'appareil des miroirs.

Considérons le système des deux miroirs de Fresnel disposé devant le foyer radieux d'une lentille cylindrique éclairée par le soleil, de manière à donner à une certaine distance, dans l'espace, des franges symétriques d'une certaine largeur; recevons ces franges sur un écran percé d'une fente très-fine, et faisons correspondre la fente au milieu même de la frange centrale; recevons maintenant la lumière qui traversera la fente dans un système réfringent destiné à dilater cette lumière en un spectre très-pur que l'observateur regardera dans l'espace au moyen d'une loupe, la frange centrale pour laquelle la différence de marche des deux rayons réfléchis est nulle fournissant alors la lumière, le spectre sera le spectre ordinaire avec ses lignes fixes. Maintenant, si, tout restant en cet état, on fait avancer l'un des miroirs parallèlement à lui-même (le plus éloigné de la source lumineuse convient le mieux), on déplacera la frange centrale qui sera remplacée par une autre frange d'un ordre d'autant plus élevé que le mouvement du miroir aura été plus grand; l'observateur verra le spectre se couvrir des bandes obscures et brillantes dont nous avons parlé, et l'on pourra les resserrer de plus en plus en faisant continuer le mouvement du miroir.

On remarquera que les lignes fixes existant simultanément dans le spectre, il est possible de compter le nombre de bandes semblables qui se trouvent entre deux quelconques d'entre elles à chaque moment de l'expérience. Nous verrons tout à l'heure que ce nombre permet de calculer la différence de marche correspendante.

Dans ces conditions, l'observation nous a donné les résultats suivants :

Digitized by Google

Le nombre des bandes peut devenir considérable sans qu'elles cessent d'être observables dans toute l'étendue du spectre. Lorsque l'on en compte 66 entre les raies E et F, le phénomène est encore très-beau et très-net; le spectre entier en contient alors près de 500. Lorsque leur nombre s'accroît beaucoup au delà, elles commencent à ne plus être aperçues vers l'extrémité rouge, puis dans l'orangé, puis dans le jaune, en reculant vers l'extrémité la plus réfrangible, où l'on peut les apercevoir longtemps encore; le nombre le plus élevé que nous ayons obtenu entre E et F est 141 : nous les avons vues plus resserrées encore, mais sans pouvoir en apprécier le nombre à cause de la faible intensité de la lumière qui, dans cette disposition, concourt à la formation du spectre. La disparition progressive des bandes, en commençant par la partie la moins réfrangible du spectre, lorsque la différence de marche devient de plus en plus grande, est un phénomène qui s'observe constamment, quel que soit le moyen employé pour produire l'interférence. Si l'on remarque toutefois qu'il ne commence à se manifester que lorsque les bandes sont devenues d'une finesse extrême, et si l'on se rappelle qu'en vertu de la dispersion décroissante du violet au rouge, la lumière est de moins en moins pure en se rapprochant de l'extrémité rouge, on est conduit à attribuer ce fait à l'imparfaite séparation des rayons simples, qui doit toujours devenir sensible à une certaine limite.

Nous avons dit que la différence de marche pouvait être déduite du nombre de bandes comprises entre deux lignes fixes dont on connaît les longueurs d'ondulation λ et λ'.

En effet, en vertu de l'égal retard de l'un des faisceaux sur l'autre pour toutes les couleurs, on a

$$n\lambda = n'\lambda',$$

n et n' étant les nombres d'ondulations λ et λ' qui mesurent ce retard. Mais on a observé que dans le spectre il

Digitized by Google

existait m intervalles terminés par des bandes semblables, en allant de la raie qui a λ pour longueur d'ondulation à celle qui a λ'. Or, si l'on suppose λ' plus grand que λ, on en conclura le nombre $n' = n - m$. Substituant cette valeur de n' dans l'équation précédente, on trouve

$$n = \frac{m\lambda'}{\lambda' - \lambda}.$$

Pour les raies E et F on a le rapport $\frac{\lambda'}{\lambda' - \lambda} = 12,32$; ainsi, pour les deux valeurs $m = 66$ et $m = 141$ trouvées précédemment, on a $n = 813$, et pour la seconde observation $n = 1737$. Ces nombres correspondent à la raie F, c'est-à-dire au milieu du bleu; pour le violet correspondant à la raie G, on trouve les nombres encore plus élevés $n = 917$, $n = 1960$.

Au lieu d'augmenter la différence de marche en faisant avancer l'un des miroirs parallèlement à lui-même, nous avons placé, suivant la méthode de M. Arago, une lame mince sur le trajet de l'un des faisceaux, et nous avons vu de même notre spectre se couvrir de bandes d'autant plus nombreuses que la lame était plus épaisse; cependant, n'ayant pas eu à notre disposition une série de lames assez parfaitement travaillées pour cet usage, nous n'avons pas été aussi loin par ce moyen que par le précédent.

Pour une petite glace d'environ $0^{mm},5$ d'épaisseur, nous avons trouvé pour le nombre de bandes, toujours entre E et F, le nombre 48.

Pour en déduire la différence de marche, il faut changer la formule qui a été trouvée, pour le cas des miroirs seuls, en cette autre

$$n = \frac{m\lambda'}{\lambda' - \lambda \frac{(r' - 1)}{(r - 1)}}.$$

r' et r étant les indices de réfraction des rayons λ' et λ pour la substance dont la lame est formée; cette quantité n, qui

Digitized by Google

se déduit encore facilement de l'épaisseur de la lame, a été trouvée pour la raie F, $n = 512$.

Interférences produites par réflexion sur des lames minces.

Si l'on fait tomber perpendiculairement sur une lentille cylindrique à court foyer un faisceau de lumière solaire, il se produit derrière la lentille, et à la distance focale principale, une sorte d'image linéaire du soleil; mais si l'on place derrière la lentille, parallèlement à son plan, et à la moitié de sa distance focale, une lame mince transparente, chacune des surfaces de cette lame réfléchit vers la lentille une portion du faisceau convergent. La lumière provenant de ces deux réflexions va converger vers l'intérieur de la lentille, la traverse en formant deux foyers linéaires situés l'un devant l'autre, et très-voisins si la lame est très-mince, puis continue sa route en sens contraire du faisceau incident, comme si elle émanait de ces foyers mêmes. Si donc un observateur pouvait se placer dans ce faisceau de lumière solaire qui tombe sur la lentille, il apercevrait à l'intérieur même de cette lentille un foyer linéaire rayonnant, qui résulterait de la superposition des deux images très-voisines situées l'une devant l'autre.

En inclinant un peu le faisceau incident, l'observation devient possible: on peut donc aussi former un spectre avec la lumière émise par ce foyer rayonnant; et comme ce foyer est constitué par deux faisceaux réfléchis aux deux surfaces d'une lame mince, le spectre devra se couvrir de bandes d'interférences dont le nombre dépendra de l'épaisseur et de la nature de la lame réfléchissante. Nous avons observé, à l'aide de cette disposition, les interférences produites par la réflexion aux deux surfaces d'une petite glace dont l'épaisseur était $0^{mm},537$.

Les bandes d'une ténuité extrême, mais très-distinctes, entre les raies F et G, n'ont pu être comptées, à cause de

Digitized by Google

leur finesse même; mais on peut calculer le nombre d'ondulations qui constitue la différence de marche, au moyen de l'épaisseur de la lame qui a été mesurée très-exactement: la formule, est dans ce cas, $n = \frac{2er}{\lambda}$.

On trouve alors pour la raie F, $n = 3406$, et pour la raie G, $n = 3859$.

Interférences produites au moyen de la double réfraction.

Si l'on place sur le trajet d'un faisceau de lumière solaire, d'abord un prisme de Nicol, puis une lame d'un corps biréfringent dans une position convenable, puis un second prisme de Nicol, dont le plan polarisant soit parallèle ou perpendiculaire à celui du premier, puis enfin une fente derrière laquelle, et à la distance convenable, sera disposé l'appareil réfringent destiné à former le spectre, on observera dans le spectre le résultat de l'interférence du rayon ordinaire avec le rayon extraordinaire.

En plaçant entre les deux prismes polarisants des lames de gypse d'épaisseurs croissantes, nous avons vu, comme dans les circonstances précédentes, un nombre croissant de bandes se former dans le spectre; pour une épaisseur de gypse de 15 millimètres, le phénomène est très-beau: le défaut seul de transparence des cristaux dont nous disposions ne nous a pas permis d'augmenter encore l'épaisseur. Un morceau de quartz à faces parallèles à l'axe, dont l'épaisseur était de $54^{mm},6$, a produit un spectre sillonné d'environ six cents bandes noires; entre E et F nous en avons compté quatre-vingt-neuf.

Une lame de spath, aussi parallèle à l'axe, et d'une épaisseur de $4^{mm},79$, en donne environ mille pour l'étendue du spectre, car entre E et F nous en avons compté cent cinquante-cinq.

Les différences de marche pour ces diverses expériences sont évidemment moindres que celles que nous avons déjà obtenues; on les calcule d'une manière très-approchée par

Digitized by Google

la formule

$$n = \frac{e(r' - r)}{\lambda},$$

r' et r étant les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire; en calculant pour la raie F, on a avec le quartz $n = 1082$, et avec le spath $n = 1692$.

Nous avons observé encore les phénomènes produits par plusieurs lames diversement épaisses de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, et nous avons vu la même série d'apparences se manifester dans le spectre.

Nous allons montrer maintenant comment on peut déduire de ce mode d'observation des données précises sur la dispersion de double réfraction, en appelant ainsi la variation que subit la différence de marche des rayons ordinaire et extraordinaire pour les diverses couleurs.

En effet, on a dans tous les cas le nombre n d'ondulations λ qui mesure cette différence de marche par la formule

$$n = \frac{e(r' - r)}{\lambda},$$

e étant l'épaisseur, r' et r les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire pour la couleur λ. Or, si l'on parvient à connaître n par l'observation directe pour les diverses couleurs, on en déduira pour chacune d'elles la valeur de $r' - r$.

Pour montrer que l'on peut trouver le nombre n directement, supposons que les prismes polarisants étant croisés à angle droit, une lame cristallisée soit convenablement placée dans l'intervalle qui les sépare.

Supposons de plus que, pour observer le spectre, on fasse usage d'un oculaire à fils croisés qui permette de considérer un point déterminé de l'espace, et fixons l'intersection de ces fils sur le milieu d'une bande noire: le nombre n correspondant à ce point sera un nombre entier. Si l'on pou-

Digitized by Google

vait alors faire décroître l'épaisseur de la lame par degrés insensibles jusqu'à la rendre nulle, on verrait le point considéré passer par des états périodiques d'éclat et d'obscurité; mais il est clair que, pour chaque retour à l'obscurité première, il y aurait une interférence de moins dans la différence de marche, de sorte que l'on aurait pour ces périodes successives n, $n-1$, $n-2$, et enfin $n-n$ pour une épaisseur nulle: le nombre de ces périodes ferait connaître le nombre cherché. Or l'on est parvenu à construire des systèmes de deux prismes glissant l'un sur l'autre, qui permettent précisément d'obtenir des épaisseurs continûment variables dans les cristaux, et l'on peut même, par certains artifices de compensation, faire décroître l'épaisseur active jusqu'à la rendre nulle. Il est donc possible d'arriver à la détermination directe du nombre d'ondulations qui mesure la différence de marche pour une couleur donnée. Ayant obtenu ce nombre n pour une couleur, on trouve aisément le nombre n' correspondant à une autre couleur λ', en comptant sur le spectre même le nombre entier ou fractionnaire d'intervalles séparés par des bandes noires que l'on rencontre en allant du premier point au second. Soit m ce nombre; si λ' est plus grand que λ, on aura

$$n' = n - m.$$

On pourra donc aussi, pour un cristal donné, calculer la quantité $(r' - r)$ pour les divers points du spectre dont on connaît la longueur d'ondulation. Cette étude offrira un intérêt particulier dans le cas de la double réfraction circulaire du cristal de roche; car, selon la remarque de Fresnel, il résulterait de la loi trouvée par M. Biot pour la rotation des plans de polarisation des diverses couleurs produites par cette double réfraction, que la quantité $(r' - r)$ devrait varier alors suivant une loi simple, et en raison inverse de la longueur d'ondulation de chaque couleur.

Dans la seconde partie de ce travail, nous considérerons

Digitized by Google

les effets produits sur la lumière polarisée par les cristaux biréfringents, non plus précisément sous le point de vue des interférences, mais sous le rapport des modifications imprimées par eux à la polarisation primitive, et l'on verra avec quelle facilité on peut étudier dans le spectre les phénomènes si complexes de la polarisation chromatique dans les plaques épaisses.

SUR LE POUVOIR MAGNÉTIQUE DES MINÉRAUX;

PAR M. DELESSE,
Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Besançon.

EXTRAIT.

Dans les recherches qui ont été entreprises par M. Faraday et par quelques autres physiciens pour déterminer quelles étaient les substances qui jouissent, à un faible degré, de la propriété d'être magnétiques, cette propriété était généralement exaltée soit à l'aide d'électro-aimants très-puissants, soit à l'aide d'un grand abaissement de température; mais on peut aussi diminuer le poids de la substance soumise à l'expérience, ou, ce qui revient au même, opérer sur la substance pulvérisée.

M. Pouillet (1) a déjà fait connaître un procédé très-simple basé sur ce principe, et à l'aide duquel il a pu constater le magnétisme dans des substances dans lesquelles il n'avait pas encore été signalé jusqu'ici. Le procédé que j'ai employé consiste à réduire les substances en poudres qui soient, autant que possible, d'égale grosseur, et à peser la quantité de chacune d'elles qui adhère à la surface d'un fort électro-aimant; cette surface restant la même, si on suppose que l'aimant soit constant, le poids obtenu pourra

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XXII, p. 144. *Voir*, pour plus de détails, *Annales des Mines*, 4e série, tome XIV: *Sur le pouvoir magnétique des minéraux et des roches*; par M. Delesse.

Digitized by Google

servir à comparer ce que j'appellerai le *pouvoir magnétique* de chaque substance : il suffira pour cela de diviser le poids p obtenu pour une substance par le poids P donné par l'acier, dont le pouvoir magnétique a été pris pour unité, et représenté par 100 000.

C'est d'après ce procédé que j'ai déterminé le pouvoir magnétique d'un grand nombre de substances, et je vais exposer d'une manière sommaire quelques-uns des résultats que j'ai obtenus pour les minéraux.

Dans le fer oxydulé, le pouvoir varie entre des limites étendues; ainsi j'ai trouvé que le pouvoir du fer oxydulé de la Neboudjah, près Bone (Algérie), n'est que 25 pour 100 de celui de Corte (Corse); le pouvoir magnétique est d'autant plus grand que le fer oxydulé est plus éclatant, et que sa structure cristalline est plus nette et mieux développée : dans les fers oxydulés qui ont été essayés, il a varié de 65000 à 15000.

Le pouvoir du fer oxydulé titané varie dans des limites qui doivent être encore plus étendues que pour le fer oxydulé, car il dépend non-seulement de la structure cristalline, mais encore de la quantité de sexquioxyde de titane : dans les échantillons essayés, le pouvoir a varié de 50000 à 10000; généralement il est donc moindre que celui du fer oxydulé.

Le pouvoir de la franklinite est de 1033, celui du fer chromé et celui du pléonaste ne dépassent d'ailleurs pas 150.

Le pouvoir magnétique des oxydes $\dot{R}\ddot{R}$, qui cristallisent en octaèdre régulier, est, toutes choses égales, d'autant plus grand que ces oxydes renferment plus d'oxyde ferroso-ferrique; il a sa valeur maximum dans le fer oxydulé, et il diminue successivement dans le fer oxydulé titané, dans la franklinite, dans le fer chromé et dans le pléonaste, en passant à peu près par tous les états de grandeur.

Le fer titané du lac Ilmen et d'Egersund, qui est cristallisé en rhomboèdre, est plus magnétique que le fer oligiste: le sesquioxyde de fer de Sabara (Brésil), qui est en

Digitized by Google

paillettes d'un gris d'acier éclatant dans du quartz grenu formant une roche désignée sous le nom d'*eisenglimmerschieffer* par M. de Leonhardt, a aussi un pouvoir élevé qui est de 6561.

Le sesquioxyde de fer est bien magnétique par lui-même et non par des mélanges de fer oxydulé. Son pouvoir est grand dans les variétés cristallisées, et il est même d'autant plus grand que les cristaux sont plus nets et plus éclatants. Pour les fers spéculaires du Vésuve et de l'Auvergne, pour les fers oligistes de l'île d'Elbe, etc., il est généralement compris entre 25 000 et 10 000; dans les variétés demi-cristallines et ayant en partie perdu l'éclat métallique, comme celles de Framont, il est inférieur à 150 : enfin il est encore plus petit dans l'hématite, qui a seulement la structure fibreuse. Le pouvoir de l'hématite n'est que de 0,02 à 0,03 de celui du fer spéculaire : le sesquioxyde de fer offre donc un exemple remarquable de l'influence de l'état cristallin sur l'intensité du pouvoir magnétique.

Les alumino-silicates de peroxyde et de protoxyde de fer qui forment quelques minerais oolitiques ou pisiformes, ont un pouvoir magnétique élevé; celui d'un minerai de Quintin (Côtes-du-Nord) a été trouvé égal à 15 100; celui de deux chamoisites (Berthier) provenant du Valais, a varié de 6000 à 2000; celui d'un minerai d'Autrey (Haute-Saône) était égal à 263. Le plus ordinairement cependant le pouvoir magnétique des minerais en grain est égal ou inférieur à celui de l'hématite brune, qui est à peu près de 80.

Le pouvoir magnétique du protoxyde de manganèse vert-olive a été trouvé égal à 24; celui de l'oxyde rouge est de 43, et celui du peroxyde de Romanèche est de 56 : on est donc conduit à ce résultat qui, d'après les idées généralement admises sur le magnétisme, paraît paradoxal, que le pouvoir de ces oxydes du manganèse augmente avec leur richesse en oxygène.

La marceline du Piémont a un pouvoir élevé et qui est de 431.

Digitized by Google

La sphærosidérite qui tapisse les druses des roches basaltiques a un pouvoir plus grand que celui du fer carbonaté spathique des filons, surtout lorsque ce dernier est décomposé : son pouvoir est également plus grand que celui du fer carbonaté lithoïde, en rognons dans le terrain houiller.

Le manganèse carbonaté (diallogite) de Nagyag est plus magnétique que le fer spathique; cela peut tenir, du reste, à l'état cristallin du manganèse carbonaté de Nagyag.

Le pouvoir de la pyrite magnétique a varié, dans mes expériences, de 2500 à 5 000; celui de tous les autres sulfures, arséniures et antimoniures naturels, qu'ils fussent simples ou complexes, a d'ailleurs été trouvé inférieur à 200 : cette limite est aussi celle du pouvoir magnétique des phosphates et des arséniates naturels.

Le carbone, l'arsenic, le soufre, l'oxygène diminuent très-inégalement et de plus très-rapidement le pouvoir magnétique d'un même métal avec lequel ils se combinent; c'est ce qu'il est facile de constater par les exemples suivants : Dans la fonte, 3 à 4 centièmes de carbone réduisent le pouvoir du fer aux $\frac{2}{3}$ ou à 66 000; dans le carbure de fer obtenu en chauffant à une chaleur blanche le cyanure de fer et de potassium dans un creuset brasqué, j'ai d'ailleurs trouvé que le pouvoir était seulement de 3 730. — Dans le speiss de nickel, 45 d'arsenic et de soufre réduisent le pouvoir du nickel à quelques centièmes; et dans les arséniures naturels le pouvoir est inférieur à 100. — Dans la pyrite magnétique, qui contient moins de 40 pour 100 de soufre, le pouvoir magnétique est au plus de 5 000; dans la pyrite martiale, qui en contient 54, il est déjà inférieur à 60: il décroît donc très-rapidement dans les sulfures quand la teneur en soufre augmente. — Dans les oxydes des battitures, qui ont 24 à 30 d'oxygène, le pouvoir magnétique s'élève encore jusqu'à 22 000 (1); mais dans le ses-

(1) *Annales des Mines*, 4e série, tome XIV, page 81 : *Sur le pouvoir magnétique du fer et de ses produits métallurgiques*; par M. Delesse.

Digitized by Google

quioxyde de fer, qui renferme 34 d'oxygène, il n'atteint 2 500 que dans les variétés qui sont très-nettement cristallisées, telles que le fer spéculaire du Vésuve.

L'arsenic, le soufre, le carbone diminuent donc beaucoup plus le pouvoir magnétique que l'oxygène, et lorsque plusieurs atomes d'arsenic ou de soufre sont combinés avec le fer ou avec un métal magnétique, le composé qui en résulte n'exerce plus d'action sensible sur l'aiguille aimantée.

La comparaison des formules des différents oxydes, sulfures et arséniures avec les pouvoirs magnétiques qui leur correspondent, montre d'ailleurs que le pouvoir magnétique d'un métal va généralement en diminuant, lorsqu'il est combiné avec des quantités d'oxygène, de soufre et d'arsenic allant en augmentant.

Cette loi présente néanmoins des exceptions : ainsi le fer oxydulé a 28 pour 100 d'oxygène, par conséquent il en contient plus que certains oxydes des battitures; cependant le pouvoir des oxydes des battitures ne dépasse pas 22 000, tandis que celui du fer oxydulé peut s'élever jusqu'à 65 000 : ce grand pouvoir magnétique est, du reste, une propriété exceptionnelle, et tout à fait caractéristique pour l'oxyde de fer $\dot{F}e\,\ddot{F}e$, qui a reçu avec raison le nom d'*aimant naturel*.

J'ai trouvé de même que l'oxyde rouge de manganèse $\dot{M}N\,\ddot{M}n$ est plus magnétique que le protoxyde; de plus, il l'est moins que le peroxyde de manganèse qui a été essayé; ainsi que je l'ai déjà fait observer, dans ces trois oxydes le pouvoir magnétique va donc encore en augmentant avec la teneur en oxygène.

Silicates. — Pour compléter les résultats qui précèdent, j'ai recherché le pouvoir magnétique des minéraux silicatés, qui, bien qu'il soit en général très-faible, peut encore être facilement déterminé.

Dans le quartz, le pouvoir est généralement nul ou très-faible; cependant il est égal à 33 dans le quartz jaspe de Sibérie.

Digitized by Google

Dans les minéraux silicatés appartenant à la famille des feldspaths, le pouvoir magnétique est aussi très-faible; mais il s'est élevé jusqu'à 77 dans le labrador verdâtre du porphyre vert antique de Scotino-Langada (Morée) : il est le plus grand dans ceux des feldspaths qui sont le plus riches en fer, qui sont le plus ordinairement ceux qui ont le moins de silice. Dans l'amphibole, le pyroxène et la diallage, préalablement débarrassés, à l'aide d'un fort aimant, du fer oxydulé qui les imprégne très-fréquemment, le pouvoir magnétique était inférieur à 100.

Un péridot transparent, qui s'était formé dans les cavités d'un fer météorique, a donné un pouvoir égal à 200; celui d'un grenat hyacinthe était environ de 300, tandis que celui du grenat vert de la serpentine de Sainte-Sabine (Vosges) n'était que de 100. Une idocrase verte de la Somma avait seulement un pouvoir de 18.

L'épidote manganésifère de Saint-Marcel, en Piémont, a un pouvoir égal à 80, qui est supérieur à celui des autres épidotes. L'ilvaïte de l'île d'Elbe a seulement un pouvoir égal à 113, quoiqu'elle renferme 33 de protoxyde et 24 pour 100 de sesquioxyde de fer; mais la wichtyne de M. Laurent a un pouvoir élevé et égal à 1057. La pyrorthite de Suède a un pouvoir magnétique égal à 470; il est bien supérieur à celui de la cérite et des autres minéraux silicatés à base de cérium. J'ai constaté d'ailleurs que des sels très-purs de cérium et de lauthane, préparés par M. de Marignac, sont magnétiques; par conséquent le cérium est magnétique, ainsi que l'avait annoncé M. Faraday, et le lauthane l'est également, quoiqu'à un degré beaucoup moindre.

L'axinite et la tourmaline ont toujours un pouvoir magnétique très-faible; il en est de même du mica et des minéraux qui contiennent du fluor.

Il importe d'observer que les minéraux qui composent la pâte de la plus grande partie des roches, tels que le feld-

Digitized by Google

spath, l'amphibole, le pyroxène, la diallage, le péridot, le grenat et même le mica, sont magnétiques par eux-mêmes et tendent à dévier une aiguille aimantée à laquelle on les présente, avec une certaine force : cette force est très-faible, il est vrai, mais elle dépend à la fois de leur pouvoir magnétique et de leur masse; aussi, bien que le pouvoir de ces minéraux soit généralement peu élevé, leur masse, dans l'échantillon essayé, est souvent assez grande pour produire la déviation, lors même qu'il ne contient pas de fer oxydulé, et j'ai constaté, par exemple, que cette déviation peut même avoir lieu quand on présente à l'aiguille quelques grammes de feldspath du porphyre vert antique, ou une certaine quantité d'amphibole, de pyroxène, etc. Il résulte donc de là qu'on ne saurait conclure, comme on le fait ordinairement, qu'une roche contient du fer oxydulé, de ce qu'elle dévie l'aiguille aimantée.

Il est facile de voir, d'après ce qui précède, que dans les minéraux silicatés, de même que dans les minéraux non silicatés, le pouvoir magnétique varie généralement à peu près dans le sens de la richesse en fer, en manganèse, en cérium, etc., ou en métaux magnétiques : il diminue d'ailleurs à mesure qu'ils renferment une quantité plus grande de silice, d'alumine, de chaux, d'eau, de fluor, etc., c'est-à-dire de substances dans lesquelles l'action magnétique est nulle, ou plutôt extrêmement faible, tandis que l'action diamagnétique prédomine.

Les minéraux silicatés qui ont un pouvoir magnétique élevé, renferment simultanément du protoxyde et du sesquioxyde de fer comme l'oxyde magnétique; mais la réciproque n'a pas toujours lieu.

Les recherches de Coulomb, ainsi que celles de MM. Arago, Becquerel, de Haldat, Faraday, Pouillet, Ed. Becquerel, de La Rive, Plücker, Poggendorff, Œrstedt, Banca, Zantedeschi, etc., ont démontré l'action exercée par les aimants sur tous les corps; on voit en outre,

Digitized by Google

d'après ce Mémoire, que la plupart des minéraux (1) qui composent l'écorce terrestre ont un pouvoir magnétique sensible et qui, bien que très-faible, peut cependant être facilement déterminé.

Il résulte des nombres obtenus pour le pouvoir magnétique du fer et de ses produits métallurgiques (2), ainsi que pour les minéraux qui viennent d'être passés en revue, que généralement, quand une substance magnétique se combine avec une autre qui l'est faiblement, le pouvoir magnétique du composé est plus petit que le pouvoir moyen calculé d'après la proportion et d'après le pouvoir de chacun des composants : de même, quand une substance fortement magnétique se combine avec une substance diamagnétique, le pouvoir magnétique du composé est très-petit relativement à celui de la substance magnétique composante.

Le pouvoir magnétique d'un minéral n'est donc pas une moyenne entre les pouvoirs de chacun de ses composants, et il est évident, d'après ce qui a été dit antérieurement, qu'il ne saurait être attribué à un mélange d'un composé ferrugineux. A plusieurs reprises, j'ai d'ailleurs eu l'occasion de faire observer, soit pour les minéraux non silicatés, soit pour les minéraux silicatés, que le pouvoir variait quelquefois en sens inverse de la teneur en fer on en métal magnétique ; par conséquent le pouvoir magnétique constitue bien pour chaque substance une *propriété spécifique*.

Les minéraux qui deviennent facilement électriques par la chaleur, tels que la tourmaline, l'axinite, etc., et qui renferment en combinaison des substances magnétiques, ont un pouvoir magnétique très-faible, et qui paraît dépendre surtout de la proportion de ces substances : les

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXV, page 202 : *Sur le magnétisme polaire ;* par M. Delesse.

(2) *Annales des Mines*, 4e série, tome XIV, page 81 : *Sur le pouvoir magnétique du fer et de ses produits métallurgiques ;* par M. Delesse.

Digitized by Google

propriétés électriques et magnétiques d'un minéral sont donc indépendantes l'une de l'autre.

Dans ce Mémoire, j'ai eu à plusieurs reprises l'occasion d'insister sur ce fait important, que le pouvoir magnétique d'une même substance est beaucoup plus grand lorsqu'elle est à l'état cristallin que lorsqu'elle est à l'état terreux, et qu'il est d'autant plus grand que l'état cristallin est plus développé. Il résulte de là que le procédé qui a servi à la détermination du pouvoir magnétique doit être regardé comme suffisamment exact pour le but que je me proposais, bien qu'il n'ait pas la précision de ceux qu'on emploie habituellement dans les recherches de physique. Il a d'ailleurs l'avantage de s'appliquer à des substances qu'on ne peut avoir qu'en très-petite quantité, comme c'est le cas pour beaucoup de minéraux.

Depuis que ce travail est terminé, des recherches importantes de MM. Plücker et Faraday ont démontré que l'action exercée par un aimant sur un corps cristallisé est extrêmement complexe. En effet, ces savants physiciens distinguent : 1° l'action magnétique proprement dite, qui est attractive ; 2° l'action diamagnétique, qui est répulsive ; 3° des actions tenant à l'état cristallin et s'exerçant surtout sur les axes des cristaux ; elles sont tantôt attractives (1) et tantôt répulsives (2), suivant la nature de la substance.

Lorsqu'on présente la poudre d'une substance cristallisée à un aimant, toutes ces actions sont encore mises en jeu, sans même en excepter les dernières ; car les grandes différences trouvées pour le pouvoir magnétique d'une même substance, suivant que son état cristallin est plus ou moins développé, montrent que si les actions tenant à la cristallinité sont atténuées par la pulvérisation, elles ne sont cependant pas détruites pour des poudres ayant le grain de

(1) Faraday, *Philosophical Magazine*, janvier 1849.
(2) Plucker, *Poggendorff Ann.*, tome LXXII, page 348.

Digitized by Google

celles que j'ai employées dans mes expériences. On conçoit cependant que plus le grain d'une substance cristallisée est petit, plus ces actions tenant à l'état cristallin sont petites; de plus, le pouvoir magnétique de la substance, qui diminue avec le rayon du grain (1), doit tendre peu à peu vers une limite qui est le pouvoir de la même substance à l'état amorphe : les actions tenant à l'état cristallin seront donc représentées et même mesurées par l'excès du pouvoir magnétique de la substance cristallisée sur le pouvoir de la même substance non cristallisée.

Le pouvoir magnétique lui-même, d'après la définition qui en a été donnée, résulte d'actions très-complexes développées par l'aimant, dont les unes sont attractives, tandis que les autres sont répulsives; mais, quoi qu'il en soit, il représente l'excès des premières sur les secondes, il définit et il mesure une propriété spécifique, particulière à chaque substance et intimement liée à son magnétisme, ce mot étant pris ici dans son acception la plus étroite : en outre, il dépend de la composition intime de la substance, de son état cristallin, et il se laisse exprimer en nombre avec une exactitude suffisante eu égard aux variations qu'il présente dans des substances ayant la même composition chimique.

Enfin, s'il n'est pas constant comme d'autres propriétés physiques, il caractérise néanmoins un minéral, en faisant connaître le développement de son état cristallin; il donne des indications sur sa richesse en fer ainsi que sur l'état d'oxydation ou de sulfuration des métaux qui y entrent en combinaison, et il peut même servir à le distinguer d'autres minéraux.

---

(1) Delesse, *Annales des Mines*, 4e série, tome XIV, pages 81 et suivantes.

Digitized by Google

NOUVELLES RECHERCHES

Sur les mouvements vibratoires qu'éprouvent les corps magnétiques et les corps non magnétiques sous l'influence des courants électriques extérieurs et transmis;

PAR M. AUG. DE LA RIVE.

M. Wertheim a publié, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIII, page 302, de nouvelles recherches sur les sons produits par le courant électrique. Il rappelle que ces sons sont de deux espèces, ceux qui proviennent de l'action d'un courant extérieur qui aimante une barre ou un fil de fer, et ceux qui sont produits par un courant transmis également à travers une barre ou un fil de fer. Les sons de la première espèce ont été constatés déjà en 1837 par M. Page, puis étudiés par MM. Marian, Matteucci, Wartmann, et par moi-même. J'ai, le premier, indiqué l'existence des sons de la seconde espèce, que M. Beatson avait découverts à peu près en même temps que moi, et qui ont été également l'objet des recherches des physiciens que j'ai nommés plus haut, et de quelques autres encore. M. Wertheim avait déjà, en 1844, démontré que le courant électrique et l'aimantation produisent sur les corps qui sont soumis à leur influence une diminution du coefficient d'élasticité; mais il avait cru voir dans les sons produits par ces deux causes plutôt un effet mécanique qu'un phénomène moléculaire (1), attribuant les sons que détermine l'aimantation à l'action attractive de l'hélice sur le fil ou sur la barre de fer, et ceux auxquels donne naissance le courant transmis à une espèce de secousse que cette transmission opérerait sur le métal con-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXIII, page 336.

Digitized by Google

ducteur. Tout en faisant, dans le cas de l'aimantation, une part à la cause signalée par M. Wertheim, j'avais montré que l'action moléculaire a bien la sienne, et que, dans le cas du courant transmis, elle seule est agissante. Une expérience de M. Guillermin et des recherches de M. Wartmann avaient confirmé cette manière de voir, sinon sur tous les points, du moins sur le plus grand nombre. Enfin, dans un Mémoire plus récent, j'étais parvenu à démontrer que, sous l'influence d'un aimant ou d'une hélice traversée par un courant continu, tous les corps conducteurs sont capables de produire un son quand ils transmettent un courant discontinu.

Dans le Mémoire qu'il vient de publier, M. Wertheim, reprenant le sujet, établit d'abord, par des expériences nombreuses et faites avec beaucoup de soin, que dans l'aimantation il y a une traction mécanique due à une composante longitudinale et à une composante transversale, que celle-ci devient nulle quand la barre de fer est au centre de l'hélice, mais que dans tous les cas la longitudinale subsiste, et que cette force agissant dans le sens de l'axe, existe également avec un courant transmis. Elle doit produire un son longitudinal, soit qu'elle tende à rallonger, soit qu'elle tende à raccourcir brusquement la barre; le son transversal ne peut naître que par le courant extérieur, et dans une position excentrique de la barre. Passant ensuite à l'étude des sons eux-mêmes, M. Wertheim en trouve l'explication dans les actions mécaniques que nous venons d'indiquer; il n'estime donc pas que soit l'aimantation, soit la transmission du courant électrique produisent des vibrations d'une espèce particulière; mais il croit que les actions mécaniques qu'elles engendrent déterminent accidentellement ces vibrations longitudinales ou transversales, comme tout autre moyen pourrait le faire. Il reconnaît cependant qu'il y a dans quelques cas un bruit sec, comme une espèce de crépitation, qui se propage au moment où le courant tra-

Digitized by Google

verse une barre ou un fil de fer, et il termine en remarquant qu'il y a encore dans cet ordre de phénomènes bien des points obscurs, notamment celui qui est relatif à la manière dont un courant traversant le fer y produit un choc mécanique.

Le nouveau travail de M. Wertheim, dont je viens de présenter le résumé, a été pour moi un motif de reprendre mes expériences, et d'étudier encore de plus près les phénomènes curieux dont il s'agit.

Il me paraît évident, maintenant, que le point que j'ai cherché à établir dans mon premier Mémoire de 1845 (1), savoir que l'aimantation ou le passage du courant électrique produisent un dérangement moléculaire, n'est plus contesté. Je reconnais, d'un autre côté, que j'ai peut-être attaché trop d'importance à la nature des sons produits, et à l'influence de certaines causes, telles que la tension, qui les faisaient varier. Il se peut, en effet, que le fil, une fois mis en vibration par le courant soit extérieur, soit transmis, un simple frottement contre quelque pièce métallique attenant au monocorde, suffise sinon complétement, du moins dans plusieurs cas, pour rendre compte de la variété de sons si remarquables qu'on entend, surtout quand on se sert de fils de fer bien recuits (2).

J'ai donc surtout en vue, dans les nouvelles recherches que je viens de faire, d'étudier la cause même du fait fondamental, c'est-à-dire des oscillations qu'éprouvent les particules des corps autour de leur position d'équilibre, par l'action des courants soit extérieurs, soit transmis. Dans ce

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XX, p. 1287, et *Archives de l'Électricité*, tome V, page 200.

(2) Les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome XXVII, page 457, contiennent l'extrait d'un Mémoire de M. Duhamel sur la résonnance multiple des corps qui me paraît pouvoir s'appliquer très-heureusement à l'étude des sons que produisent dans les fils de fer de simples mouvements moléculaires.

Digitized by Google

but, j'ai d'abord soumis à l'expérience les corps, comme le fer, susceptibles de magnétisme, puis ensuite les autres corps conducteurs qui ne sont pas magnétiques.

§ I. — *Étude des vibrations produites sur les corps magnétiques par les courants soit extérieurs, soit transmis.*

Quand on place de la limaille de fer très-fine dans l'intérieur d'une hélice dont l'axe est vertical, on voit cette limaille se disposer, sous l'influence du courant qui traverse l'hélice, en petites pyramides allongées dans le sens de l'axe, qui se détruisent et se reforment rapidement quand le courant est intermittent. L'action du courant de l'hélice sur cette limaille consiste donc à la distribuer sous forme d'un filet allongé parallèle à l'axe, filet que la pesanteur seule empêche d'être aussi long que l'hélice elle-même.

Cette expérience, que j'ai déjà décrite, et qui réussit aussi bien avec de la poudre de fer impalpable qu'avec de la limaille, prouve que les particules de fer sous l'influence de l'aimantation extérieure tendent à se rapprocher dans le sens transversal et à s'étendre dans le sens longitudinal. Il est probable que c'est à la forme des particules élémentaires du fer, et à la manière dont elles sont polarisées, que le phénomène est dû. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il rend bien compte de ce qui se passe dans une barre ou dans un fil de fer soumis à l'influence du courant intermittent de l'hélice. Les particules du fer luttant avec la cohésion se disposent dans le sens longitudinal quand le courant agit, et reviennent à leur position primitive dès qu'il cesse; il en résulte une série d'oscillations qui sont isochrones avec les intermittences du courant. Cette manière d'envisager le phénomène est tout à fait d'accord avec le rétrécissement dans le sens transversal accompagné d'une extension dans

Digitized by Google

le sens longitudinal, que M. Joule a observé sur des fils et des barres de fer soumises à l'aimantation (1).

Le même physicien a également remarqué que lorsque le fil est très-tendu, l'aimantation détermine un raccourcissement au lieu d'un allongement, effet qui est d'accord avec la cessation des sons que j'ai observés quand la tension devient trop forte.

Tous ces effets sont beaucoup plus prononcés dans le fer doux que dans le fer durci et que dans l'acier, ce qui tient à ce que, dans le fer doux, les particules sont beaucoup plus mobiles autour de leur position d'équilibre. Le fer doux et l'acier déjà aimantés par l'action d'un aimant ou d'une seconde hélice, donnent des vibrations moins fortes quand le courant extérieur tend à les aimanter dans le sens où ils le sont déjà, plus fortes dans le cas contraire. Le passage d'un courant continu à travers un fil de fer modifie le son que lui fait rendre l'action intermittente du courant extérieur de l'hélice, pourvu que le courant transmis soit très-fort et le fer très-doux.

Je ne m'étends pas davantage sur ce premier cas, que je crois maintenant bien éclairci; je passe à celui du courant transmis.

Un courant électrique transmis par intermittence à travers un fil de fer très-doux et d'un petit diamètre (de 1 à 3 millimètres), y détermine des vibrations aussi fortes que celles qu'y produisait le même courant agissant extérieurement dans les conditions les plus favorables. Si le fil de fer devient plus gros, ou s'il est plus écroui, ou bien encore si c'est un fil d'acier, l'effet du courant transmis est moindre que celui du courant extérieur (2). Avec des tiges de fer doux de

(1) *Archives des Sciences physiques et naturelles*, tome IV, page 376, et tome V, page 51.

(2) Cette expérience du fil de fer recouvert de soie dans toute son étendue, et qui donne tous les mêmes sons que lorsque sa surface est parfaitement nue, semblerait indiquer que les causes extérieures, telles que le frotte-

Digitized by Google

4 à 5 millimètres de diamètre, la transmission du courant continu n'éteint pas complétement, mais diminue seulement l'effet du courant discontinu. Si les tiges sont très-grosses, la diminution devient moins sensible, à moins qu'on n'emploie des piles très-fortes. Dans les expériences qui précèdent, je faisais usage de deux piles de Grove de 5 couples, l'une pour le courant continu, l'autre pour le discontinu.

La même expérience faite sur des tiges et des fils d'acier m'a donné des résultats précisément contraires. Le son produit par la transmission du courant discontinu est peu intense; mais il est renforcé, loin d'être diminué, par le passage d'un courant continu dirigé dans le même sens que le discontinu. Un fait assez curieux, c'est que ce renforcement subsiste encore quelques instants après que le courant continu a cessé de passer, et qu'il disparaît, non tout d'un coup, mais peu à peu et par accès.

J'ai fait ces expériences avec des fils d'acier de 1 et de 2 millimètres de diamètre, des tiges, soit trempées, soit non trempées, de 3 à 4 millimètres de diamètre. Les résultats ont été les mêmes; le renforcement dû au courant continu est plus prononcé avec les tiges qu'avec les fils (1).

Il me semble résulter de ce qui précède, que l'effet du courant transmis est de donner aux molécules du fer une direction transversale, comme l'effet de l'aimantation était de leur en donner une longitudinale. Si l'on examine avec attention l'arrangement des particules de la limaille de fer autour d'un fil de fer ou d'un autre métal quelconque, tra-

---

ment, jouent dans la production de ces sons un rôle moindre qu'on ne le croit; ce point mériterait d'être étudié de plus près.

(1) Les tiges d'acier s'aimantent par le seul passage de ces courants discontinus sans courant extérieur; mais elles prennent des points conséquents. Faut-il attribuer cette aimantation à l'effet du magnétisme terrestre que favoriseraient les vibrations moléculaires qu'éprouve l'acier, ou bien est-ce un effet direct du courant transmis par intermittences? De nouvelles recherches seraient nécessaires pour résoudre cette question.

Digitized by Google

versé par un courant électrique, on voit que cette limaille se place de façon à former des lignes transversales parallèles entre elles. C'est ce qu'on aperçoit très-bien en encastrant dans une rainure pratiquée dans une planchette de bois le fil conducteur. La limaille, ne pouvant faire le tour du fil, se place transversalement au-dessus, en formant de petits filets de 3 à 4 millimètres de longueur, qui présentent à leurs deux extrémités des pôles opposés. Quand le fil est libre, ces filets, au lieu de rester rectilignes, se rejoignent par les deux bouts, et enveloppent la surface du fil en formant autour d'elle une courbe fermée. Or l'arrangement que les particules de la limaille de fer affectent autour d'un fil conducteur quelconque qui transmet un courant, les molécules de la surface d'un fil de fer doux traversé lui-même par un courant, doivent l'affecter également par l'effet de ce courant transmis à travers toute la masse du fil. C'est, au reste, ce que prouvent encore les expériences de M. Joule, qui montrent qu'un fil ou une tige de fer doux éprouve un raccourcissement par l'effet d'un courant transmis. Il en résulte donc que, lorsque le courant transmis est intermittent, les particules de la surface oscillent entre cette position transversale et leur position naturelle, et que par conséquent il y a production de vibrations. Ces oscillations sont d'autant plus faciles, et par conséquent les vibrations d'autant plus fortes, que le fer est plus doux; avec le fer écroui et surtout avec l'acier dur, il y a une plus grande résistance à vaincre, et l'effet est par conséquent moins sensible. Dans le premier cas, la transmission d'un courant continu, en imprimant d'une manière permanente aux particules la position que tend à leur donner le courant discontinu, doit annuler ou du moins diminuer notablement le mouvement oscillatoire; c'est en effet ce qui a lieu. Dans le cas du fer écroui ou de l'acier, le courant continu doit, au contraire, en dérangeant les particules de leur position normale, sans pouvoir toutefois leur imprimer complète-

Digitized by Google

ment la direction transversale, à cause de la trop grande résistance qu'elles offrent à un déplacement, faciliter l'action oscillatoire du courant discontinu; ce que l'expérience confirme. Quant aux intermittences dans l'intensité du son dans ce dernier cas, après que le courant continu a cessé de passer, elles tiennent probablement à ce que les particules, dérangées de leur position naturelle pendant un temps plus ou moins long, n'y reviennent qu'après une série plus ou moins prolongée d'oscillations, que favorise l'action non interrompue du courant discontinu.

A l'appui de l'explication que je viens de donner, j'ajouterai qu'ayant entouré un fil de cuivre d'une enveloppe de fer qui lui était contiguë, et pour ainsi dire plaquée, j'ai obtenu, en faisant traverser le courant discontinu à travers le fil de cuivre, les mêmes effets, à l'intensité près, que si le fil eût été entièrement de fer; seulement le son n'était pas musical, mais ressemblait à celui qu'aurait rendu de la limaille fortement agitée. Comme on aurait pu attribuer ce résultat à ce qu'une partie du courant traversait l'enveloppe de fer elle-même au lieu de circuler exclusivement à travers le fil de cuivre, j'ai isolé ce dernier au moyen d'une couche de soie ou de cire, de façon que le cylindre mince de tôle de fer qui l'entourait ne pût nullement communiquer métalliquement avec le cuivre. L'effet a été exactement le même que dans le cas précédent, c'est-à-dire que le fil de cuivre étant traversé par un courant discontinu, a déterminé dans l'enveloppe de fer une série de vibrations ou de coups secs et métalliques. Cette enveloppe éprouvait donc une aimantation transversale analogue à celle qu'éprouve la surface d'un fil entièrement de fer; c'est, au reste, ce qu'il était facile de constater en voyant que la limaille de fer était attirée sur les deux bords d'une petite fente longitudinale que présentait cette enveloppe dans quelques-unes des parties de sa surface, et que ces deux bords avaient une polarité magnétique opposée. Tous ces effets

Digitized by Google

étaient plus marqués quand un courant continu, allant dans le même sens que le discontinu, était transmis à travers le fil de cuivre; ils cessaient entièrement aussitôt que les deux courants ne passaient plus. Cette augmentation dans l'intensité du son produite par le passage du courant continu était due à ce que le courant discontinu n'avait pas à lui seul, vu qu'il agissait à distance, assez de puissance pour surmonter la force coercitive de l'enveloppe de fer, qui elle-même était très-écrouie, et qu'il avait besoin, pour imprimer aux particules du fer une position transversale, de l'aide du courant continu.

Avant de terminer cette première partie de mes recherches, je dois encore observer que le passage d'un courant continu, dirigé en sens contraire du discontinu, diminue le son, au lieu de le détruire complétement, quand le fil soumis à l'expérience est un fil de fer doux; il le modifie sans l'affaiblir sensiblement dans les fils et les tiges d'acier, enfin il le fait disparaître complétement dans le tube de fer au travers duquel passe le fil conducteur de cuivre recouvert de soie. Ces effets varient, du reste, avec l'intensité absolue des courants dont on fait usage, et ils sont faciles à interpréter d'après les principes que nous avons exposés. D'ailleurs il ne faut pas perdre de vue que, lorsque les deux courants continus et discontinus sont égaux en force, ils s'annulent toutes les fois qu'ils passent ensemble, de sorte que le discontinu n'agit plus, et que le continu devient intermittent dans son action.

Enfin, l'aimantation permanente modifie notablement le son que fait rendre à un fil ou à une tige de fer doux le passage du courant discontinu. Pour me mettre à l'abri, dans cette expérience, des effets mécaniques dus à l'aimantation, je place une tige de fer doux sur les deux pôles d'un électro-aimant, en ayant soin, au moyen d'une carte interposée, d'éviter le contact métallique entre les pôles et la tige. Je la charge ensuite de poids considérables pour que sa position ne puisse pas être modifiée par l'aimantation. Puis je fais

Digitized by Google

passer le courant discontinu à travers la tige ; elle fait entendre une succession de coups secs et métalliques, qui deviennent beaucoup plus intenses et plus graves au moment où j'aimante l'électro-aimant. Il est évident que cette modification et ce renforcement du son tiennent à la lutte qui s'établit entre la position longitudinale que l'influence de l'aimantation imprime aux particules du fer doux, et la position transversale que le passage du courant tend à leur donner ; les oscillations des particules doivent avoir nécessairement plus d'amplitude, puisqu'elles ont lieu entre ces portions extrêmes. L'effet de l'aimantation permanente, quoique encore sensible, est cependant moins prononcé avec des tiges d'acier, et surtout d'acier trempé.

§ II. — *Étude des mouvements vibratoires qu'éprouvent les corps non magnétiques sous l'influence des courants électriques extérieurs et transmis.*

J'avais déjà signalé dans un précédent Mémoire que des tiges, même passablement grosses, de divers métaux non magnétiques, rendaient un son distinct quand, après les avoir placées au-dessous et très-près d'un électro-aimant ou dans l'intérieur de l'axe d'une hélice, on les faisait traverser par un courant discontinu. Le son ne devenait perceptible, quelle que fût la force du courant transmis, qu'à l'instant où le fil de l'électro-aimant ou celui de l'hélice étaient traversés par un courant continu. J'avais encore remarqué que l'effet était encore plus prononcé quand on donnait au métal la forme d'un tube ou celle d'un gros fil tourné en hélice. Je m'étais également assuré, en employant des tiges de grandes dimensions, que la production du son ne pouvait être attribuée ni à un effet calorifique du courant, ni à une action mécanique exercée par l'électro-aimant ou par l'hélice sur les conducteurs traversés par le courant discontinu. Dès lors j'ai fait quelques nouvelles observations qui montrent bien que ce genre d'action est d'une nature particu-

Digitized by Google

lière, probablement moléculaire, comme celle qui a lieu avec les corps magnétiques.

Remarquons d'abord qu'avec un seul courant discontinu on peut produire le phénomène sans avoir besoin en outre d'un courant continu ou d'un électro-aimant. Il suffit, pour cela, de tourner le fil qui conduit le courant discontinu en forme d'hélice. On crée ainsi un aimant; car toutes les fois que le courant traverse l'hélice, celle-ci acquiert les propriétés magnétiques, et en même temps le fil de l'hélice est lui-même un conducteur traversé par le courant discontinu sur lequel agit l'ensemble de l'hélice considérée comme aimant. Aussi toute hélice construite avec un fil d'un métal quelconque dont les spires, recouvertes ou non de soie, sont plus ou moins serrées les unes contre les autres, fait entendre un son très-distinct quand elle est traversée par un courant discontinu. Un courant continu, transmis dans le même sens que le discontinu, fait cesser totalement le son, ou en diminue notablement l'intensité, quoiqu'il en résulte une augmentation notable dans l'intensité électro-magnétique de l'hélice. Cet effet neutralisant tient probablement à ce que, le courant continu imprimant d'une manière permanente aux particules du fil la position qu'elles doivent prendre sous l'influence magnétique qu'exerce l'hélice elle-même, le courant discontinu ne détermine plus, dans les instants où il est transmis, de nouveaux déplacements. Cet effet est tout à fait semblable à celui qu'exerce un courant continu quand il traverse un fil de fer traversé par un courant discontinu; il fait cesser le son que ce fil rendait sous l'action de ce dernier courant.

Mais si le courant continu, au lieu de traverser le fil de la même hélice qui conduit le courant discontinu, circule à travers le fil d'une autre hélice qui entoure la première, l'effet est totalement différent. Dans ce cas, le son est notablement renforcé, et devient en général plus métallique; cette augmentation est d'autant plus sensible, que le cou-

Digitized by Google

rant discontinu est plus faible, et le courant continu ambiant plus énergique. Dans cette expérience les deux courants vont dans le même sens, de manière que les deux hélices, considérées comme aimants, présentent chacune le même pôle magnétique à leurs mêmes extrémités. Si le courant continu ambiant est dirigé en sens contraire du discontinu, alors le son est moins fort que dans le cas précédent, mais plus fort que lorsque l'hélice extérieure n'agit pas; il produit également une impression différente: il ressemble au bruit de l'eau qui bout, tandis qu'auparavant il paraissait semblable à celui qu'aurait occasionné une succession de fortes étincelles. Remarquons toutefois que si le courant discontinu est de force à donner naissance par lui-même à un son assez intense pour être facilement entendu à quelques pieds de distance, l'influence d'un courant continu extérieur, quand il va en sens contraire, diminue l'intensité du son. Elle l'augmente toujours, et dans tous les cas, quand les deux courants vont dans le même sens.

On peut également transmettre le courant continu à travers l'hélice intérieure, et le discontinu à travers l'extérieure, contrairement à ce qui a lieu dans les expériences précédentes. Dans ce cas, si les deux courants vont dans le même sens, le son ressemble à une suite de chocs, et quand ils vont en sens contraire, le bruit n'est que peu renforcé, à moins que le courant discontinu ne soit produit que par une pile peu considérable, par exemple par deux couples de Grove : alors le renforcement a lieu également; seulement le bruit ressemble à celui de l'eau qui bout.

Il est facile de comprendre comment une hélice traversée par un courant continu, et placée extérieurement ou intérieurement à l'hélice traversée par le courant discontinu, renforce le son que rend cette dernière. En effet, on crée, dans ce cas, un aimant permanent, dont l'action s'ajoute à celle de l'aimant temporaire que crée le courant discontinu quand il passe à travers l'hélice. De plus, en faisant passer

Digitized by Google

le courant continu à travers le fil d'une autre hélice que celle qui transmet le discontinu, on ne donne point d'avance aux molécules du fil conducteur la position qu'elles prennent seulement par l'effet du passage du courant discontinu; c'est ce qui fait qu'elles oscillent librement autour de leur position naturelle d'équilibre. On ne pouvait obtenir le même résultat quand les deux courants passaient à travers le fil de la même hélice, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer.

Quand les courants vont en sens contraire dans les deux hélices, il est évident qu'il en résulte une diminution dans le magnétisme total de l'ensemble des deux hélices juxtaposées; c'est pourquoi le son n'est pas en général renforcé, et il ne l'est que lorsque le courant discontinu étant très-faible, le magnétisme de l'hélice qu'il traverse l'est aussi. Le magnétisme de l'autre hélice, traversée par le courant continu plus énergique que le discontinu, exerce alors une influence prépondérante.

Quant à la différence dans la nature du son, suivant que le courant continu va dans le même sens que le discontinu, ou en sens contraire, je ne puis l'expliquer qu'en admettant que l'influence des deux magnétismes opposés, et inégaux en intensité, diminue l'amplitude des oscillations que les particules du fil traversé par le courant discontinu font autour de leur position naturelle d'équilibre; amplitude qui, au contraire, est la plus considérable quand les deux magnétismes agissent dans le même sens.

J'ai placé un tube de fer doux entre les deux hélices; il en résulte une augmentation dans l'intensité du son, quand les deux courants vont dans le même sens, une diminution et même une annulation complète, quand ils vont en sens contraire. Si le tube de fer doux est plus long que l'hélice intérieure, sa présence intercepte complétement l'influence de l'hélice extérieure traversée par le courant continu; il n'en est pas de même si le tube est fendu dans le sens de

Digitized by Google

sa longueur : sa présence ne modifie en rien les phénomènes. En mettant le tube ou un cylindre massif de fer doux dans l'axe de l'hélice intérieure, et non plus entre les deux hélices, alors on augmente notablement le son, surtout quand le courant continu traverse l'hélice intérieure, et le discontinu l'extérieure ; l'augmentation a même lieu, quand il n'y a qu'un courant discontinu. Dans tous les cas, le son ne change pas de nature ; son intensité seule est modifiée.

Un tube de cuivre ou de tout autre métal ne produit aucun effet, quand il est placé dans l'axe de l'hélice intérieure ; il n'en est plus de même s'il est entre les deux hélices ; il détermine alors un nouveau son : ce son est évidemment dû à un courant d'induction qui circule autour du tube de cuivre, car si ce tube est fendu dans toute sa longueur, le son n'a plus lieu, même quand, pour augmenter la force magnétique de l'hélice, on place un cylindre de fer doux dans son axe.

Il n'est pas nécessaire que les conducteurs traversés par un courant discontinu aient la forme de fils ou celle de tige pour rendre un son sous l'influence d'un aimant ou d'un courant continu. Une rondelle de laiton de 12 centimètres de diamètre et de 1 millimètre d'épaisseur fut placée horizontalement au milieu d'une hélice, au moyen d'un support métallique vertical qui était fixé au centre du disque. On avait eu soin d'éviter tout contact entre les bords du disque et la surface intérieure de l'hélice ; le courant discontinu était dirigé du centre à la circonférence, ou de la circonférence au centre. Aussitôt qu'un courant continu fut transmis à travers le fil de l'hélice ambiante, on entendit une succession bien prononcée de sons métalliques dans le disque.

Le mercure peut lui-même produire des sons, comme je l'ai déjà remarqué. Pour les rendre sensibles, il suffit d'introduire le mercure dans un tube de quelques millimètres de diamètre, et qui est contourné de façon à envelopper à

Digitized by Google

peu près le pôle de l'électro-aimant. Aussitôt que celui-ci est aimanté, et que le courant discontinu traverse le mercure, on entend une série de sons semblables à ceux qui résulteraient d'une succession régulière d'étincelles produites par un fort courant entre le mercure et un fil métallique. Cependant, il n'en existe pas trace, ainsi qu'il est facile de s'en assurer; et d'ailleurs, il suffit, pour obtenir le phénomène, de transmettre à travers le mercure un courant trop faible pour produire des étincelles. Ce qu'il y a d'assez remarquable, c'est que si, au lieu d'être un peu au-dessous de la surface polaire de l'électro-aimant, le tube qui renferme le mercure est sur cette surface même, le bruit ne se fait pas entendre. Tous ces effets sont très-distincts du mouvement que le mercure affecte sous l'influence des aimants, quand il est traversé par des courants soit discontinus, soit continus.

Je ne reviens pas pour le moment sur les sons si remarquables que fait entendre l'arc voltaïque sous l'influence de l'électro-aimant, sons que j'ai décrits avec soin dans un précédent Mémoire (1). Ils sont évidemment de la même nature que ceux dont je viens de parler, car dans l'arc voltaïque le courant est, pour ainsi dire, intermittent par la nature même de l'arc qui le conduit.

Le phénomène général est donc celui-ci, savoir : que lorsqu'un conducteur quelconque solide, liquide ou gazeux (du moins très-divisé comme dans l'arc voltaïque), est traversé par un courant électrique; un aimant, ou un assemblage de courants électriques fermés et ayant par conséquent les propriétés magnétiques, agissent sur les particules de ce conducteur de façon à leur donner une position relative différente de celle qu'elles ont naturellement. D'où il résulte que, si le courant transmis est discontinu, les particules oscillent entre leur position normale et la position

(1) *Archives des Sciences physiques*, tome IV, page 345.

Digitized by Google

forcée que tend à leur imprimer l'influence magnétique; ce qui donne naissance aux sons et explique les modifications qu'il présente.

Est-ce que l'action du magnétisme seul suffit pour altérer la position relative des particules de tous les corps, ou faut-il l'action combinée du magnétisme et des courants électriques? Les expériences de Faraday semblent favorables à la première hypothèse, car l'action qu'exercent sur la lumière les corps transparents soumis à l'influence d'un fort électro-aimant, indiquent évidemment chez eux un dérangement moléculaire. Les recherches récentes de M. Matteucci, en montrant qu'une action mécanique, telle que la compression, peut annuler ou augmenter sur la même substance (le verre pesant, par exemple) l'effet obtenu par Faraday au moyen d'un électro-aimant, confirment bien que ce dernier effet est aussi un phénomène moléculaire.

Quant aux corps non transparents, mais conducteurs, s'ils sont magnétiques, ils éprouvent une modification moléculaire sous l'action de l'aimant, ainsi que nous l'avons exposé plus haut. S'ils ne sont pas magnétiques, ils sont diamagnétiques, et dès lors il est bien probable que le diamagnétisme détermine chez eux un changement dans la position de leurs particules, comme le fait le magnétisme chez les autres; car il paraît bien prouvé que le diamagnétisme est dû à une polarité transversale, comme le magnétisme est dû à une polarité longitudinale (1). Or, toutes les fois qu'une cause quelconque détermine une polarité dans des particules, celles-ci doivent, en y obéissant, se placer dans une position relative déterminée, exactement comme cela a lieu dans le phénomène de la cristallisation.

Il est donc probable que sous l'influence d'un aimant ou d'un courant extérieur, les particules d'un corps diamagné-

(1) Les nouvelles recherches de M. Faraday sur la polarité magnétique des cristaux de bismuth sont tout à fait favorables à cette manière de voir.

Digitized by Google

tique tendent à se placer transversalement, tandis que sous celle d'un courant transmis, elles se disposent dans une direction longitudinale, ainsi que le montre la force de projection qui porte les particules d'un conducteur du pôle positif au négatif, là où le circuit est interrompu, en donnant naissance à l'arc voltaïque. La lutte entre ces deux tendances contraires, l'une transversale, l'autre longitudinale, donne naissance aux mouvements d'oscillations des particules autour de leur position d'équilibre, et par conséquent aux vibrations.

Dans la production des courants d'induction, il doit y avoir nécessairement ce dérangement moléculaire que produit l'action magnétique d'un aimant ou d'un courant fermé. C'est probablement à ce dérangement qu'est due la production d'un courant électrique instantané, de même que lorsque le dérangement moléculaire cesse par la disparition de la cause qui l'a déterminée, il se développe un second courant électrique dirigé en sens contraire du premier. Il est facile de comprendre pourquoi ces deux courants sont dirigés ainsi en sens opposés.

Un conducteur placé sous l'influence d'un électro-aimant ou de courants moléculaires, doit donc être, tant que cette influence s'exerce sur lui, dans des conditions moléculaires particulières. C'est ce que démontre le jeu de la lumière sur ceux qui sont transparents; il resterait à le démontrer par un autre moyen direct, pour ceux qui sont opaques, comme l'a fait M. Joule pour les substances magnétiques. Car les preuves tirées du diamagnétisme et des vibrations sonores ne sont qu'indirectes, quoique les dernières semblent être cependant passablement concluantes.

Je reviendrai incessamment sur ce sujet, à l'occasion de quelques recherches sur le rapport qui existe entre le diamagnétisme et les courants induits, dont je m'occupe actuellement.

Digitized by Google

ANALYSE DES SUBSTANCES SACCHARIFÈRES

Au moyen des propriétés optiques de leurs dissolutions et l'évaluation de leur rendement industriel;

PAR M. T. CLERGET.

On sait combien ont été fécondes les découvertes des phénomènes de polarisation circulaire dues à M. Arago et à M. Biot. Depuis longtemps M. Biot a fondé, sur l'observation de ces phénomènes, une méthode d'analyse des substances saccharifères. Prenant pour base les travaux de ce savant, je me suis d'abord proposé de rendre entièrement pratique une application aussi importante, et je me suis ensuite attaché à en écarter les causes de perturbation et d'erreur qui n'avaient pas encore été surmontées ou étaient restées inaperçues. Déjà mes efforts m'avaient permis de m'approcher du but que je m'étais fixé, à l'aide des appareils ordinaires de polarisation, lorsque l'emploi de l'ingénieux instrument, récemment inventé par M. Soleil pour la saccharimétrie optique, m'a fourni les moyens d'arriver à un résultat complétement satisfaisant.

Afin de pouvoir être suivi dans l'exposé de la méthode que j'ai coordonnée, je commencerai par présenter une description succincte du saccharimètre de M. Soleil.

Deux parties tubulaires TT′, et T″T‴, *fig.* 1 et 1 *bis*, *Pl. II*, constituent le corps principal de l'appareil.

La lumière employée pour l'observation, et qui peut être indifféremment la lumière naturelle du ciel ou celle d'une lampe, entre en *o* par une ouverture circulaire d'environ 3 millimètres de diamètre; elle traverse dans la partie TT′ d'abord un prisme polariseur sensiblement achromatisé (1)

(1) Des deux images données par ce prisme, l'une, au moyen de l'amplitude suffisante de l'angle réfringent et d'un diaphragme convenablement distancé, est rejetée hors du champ de la vision, et il ne passe que la seconde image, qui est l'image ordinaire.

Digitized by Google

placé en p, et reproduit séparément par la *fig.* 2, puis en p' une plaque de quartz, dite à double rotation, vue de face, *fig.* 3. Cette plaque est composée de deux demi-disques d'égale épaisseur, soit de $3^{mm},75$ (1), soit du double $7^{mm},50$, taillés perpendiculairement à l'axe de cristallisation. Les demi-disques sont entre eux de pouvoirs rotatoires inverses, c'est-à-dire qu'ils dévient le plan de polarisation, l'un g de droite à gauche, l'autre d de gauche à droite.

Parvenue à la partie T''T''', la lumière rencontre en p'' une plaque de quartz à rotation simple, soit à gauche, soit à droite, ce qui est indifférent, et d'une épaisseur arbitraire.

Après avoir franchi cette plaque, elle traverse en $l\,l'$ deux lames prismatiques, aussi en quartz, douées toutes deux d'un même pouvoir rotatoire, mais de signe contraire à celui de la plaque p'' qui les précède. Ces deux lames, dont la *fig.* 4 donne en grand la coupe longitudinale et les positions respectives, sont ajustées dans une coulisse, de manière à pouvoir glisser l'une devant l'autre, de gauche à droite et de droite à gauche, en conservant le parallélisme de leurs faces homologues $f\,f'$, qui sont perpendiculaires à l'axe de cristallisation, de telle sorte qu'à raison de leur forme et de leur opposition de base à sommet, on fait varier à volonté la somme de leur épaisseur sur le trajet du rayon de lumière polarisé $r\,r'$. Ce mouvement des lames s'opère au moyen d'une double crémaillère taillée sur les montures en cuivre dont elles sont garnies, et d'un pignon correspondant au bouton B, *fig.* 1. Enfin, le rayon traverse en a, *fig.* 1, un prisme biréfringent, dit *analyseur*, et l'instrument se termine par une lunette de Galilée L, qui est des-

(1) Une lame de quartz de cette épaisseur, ou de ses multiples, donne une dispersion des plans de polarisation qui, lorsqu'on fait usage de la lumière blanche, et que les sections principales du prisme polariseur et du prisme analyseur dont il va être question sont parallèles, correspond à la teinte *violet pâle*, nommée par M. Biot teinte sensible ou de passage.

Digitized by Google

tinée à rendre, au moyen de son pointé, la vision distincte, quel que soit le foyer de la vue de l'observateur. Il est, du reste, à remarquer que le prisme *a* est placé de telle sorte, relativement à un diaphragme de la lunette L, que le passage de l'une des deux images qu'il produit est intercepté, comme cela a lieu pour le prisme polarisateur *p*, et qu'il ne reste dans le champ de l'instrument que l'image, soit ordinaire, soit extraordinaire, suivant que la plaque à double rotation est d'une épaisseur de $3^{mm},75$ ou de $7^{mm},50$.

Il résulte de cette construction qu'en plaçant l'œil près de l'oculaire de la lunette, l'ouverture *o* présente l'apparence d'un disque lumineux traversé par une ligne médiane et verticale produite par la jonction *j j'* des deux quartz placés en *p'*, *fig.* 1, et qui composent la plaque à double rotation, *fig.* 3. D'ailleurs, dans cet état normal de l'instrument, la somme de l'épaisseur des deux lames prismatiques *l l'* est égale à l'épaisseur de la plaque à rotation simple *p''*, et le pouvoir de ces lames neutralise exactement celui de sens contraire de cette même plaque; l'influence des deux quartz de la plaque à double rotation est alors seule sensible. Or les pouvoirs rotatoires de ces quartz, bien que de sens inverses entre eux, étant de valeurs égales, ils déterminent une coloration uniforme des deux moitiés du disque, et cette coloration, en raison de la position donnée au prisme analyseur, est le violet.

Cependant, si l'on vient à interposer en V, *fig.* 1, un tube (1) contenant un liquide doué aussi d'un pouvoir rotatoire sur la lumière polarisée, l'uniformité de coloration

(1) Les tubes, *fig.* 7, 7 *bis*, 8 et 1 *bis*, dont on se sert pour contenir les liquides soumis à l'observation, sont en cristal, à parois épaisses et recouverts de cylindres de cuivre *cc'*, dans lesquels ils sont assujettis avec du mastic. Leur diamètre est intérieurement environ de 1 centimètre et extérieurement de 3 centimètres. Dressés avec soin sur chacune de leurs extrémités perpendiculairement à leur axe, ils se ferment au moyen de disques en verre *uu'* à surfaces parallèles. On détermine l'adhérence de ces disques

Digitized by Google

entre les deux moitiés du disque lumineux, *fig.* 5, est détruite, et il arrive, par exemple, que la moitié *m* devient bleue, et que la moitié *m'* se colore en rouge pur. Cet effet est dû à ce que le pouvoir du liquide vient s'ajouter à celui de même sens de l'un des deux quartz de la plaque à double rotation *p'*, et affaiblit d'autant celui de sens opposé du second quartz. Mais pour rendre de nouveau aux deux moitiés du disque leur teinte première et uniforme, il suffit de tourner le bouton B, soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, suivant le sens du pouvoir du liquide, puisque, par ce mouvement, on augmente ou on diminue sur le trajet du rayon la somme de l'épaisseur des deux lames prismatiques *l l'*, et que l'on oppose ainsi à l'influence du liquide, soit un excès du pouvoir de ces lames sur celui de la plaque fixe *p''*, soit un excès du pouvoir de cette plaque sur celui des lames.

D'ailleurs le sens de la déviation et l'épaisseur du quartz employé pour neutraliser l'effet du liquide se reconnaissent immédiatement au moyen d'une échelle *e e'*, *fig.* 6, 1 et 1 *bis*, à deux graduations inverses, partant du même zéro et d'un double vernier *v v'*. Cette échelle et ce vernier, tracés sur les montures métalliques des lames, éprouvent nécessairement un déplacement respectif qui suit celui des lames, et qui indique la position relative de celles-ci, c'est-à-dire l'augmentation ou la diminution de la somme de leur

---

en graissant légèrement les épaisseurs du tube, et on les recouvre avec des viroles en cuivre *xx'*, que l'on visse avec force sur les cylindres *ee'*.

Les tubes sont simples, *fig.* 7, ou à tubulure latérale *y*, *fig.* 8. Les premiers ont 20 centimètres de longueur et les second 22 centimètres. Ces derniers sont munis de supports *zz'*, destinés à maintenir la tubulure *y* dans une position verticale lorsqu'on les remplit par cette même tubulure. L'usage spécial de chacune de ces deux espèces de tube sera expliqué dans l'exposé de la méthode.

Il est à remarquer qu'on a adapté aux tubes de 20 centimètres des viroles plus longues que celles des tubes de 22 centimètres, afin de conserver les mêmes dimensions extérieures.

Digitized by Google

épaisseur sur le trajet du rayon. Les espaces que marquent les doubles chiffres 1 et 2 placés, les uns à droite, les autres à gauche du zéro de l'échelle, correspondent chacun à une marche de 1 millimètre de quartz; comme ces mêmes espaces de zéro à 1 et de 1 à 2 sont partagés en dix parties, et que chacune de ces parties, au moyen du vernier, se subdivise elle-même en 10, ce sont, en dernier résultat, des épaisseurs de 1 centième de millimètre que précise le vernier, et la sensibilité de l'instrument est telle, que l'égalité des teintes qu'il s'agit de rendre semblables peut même être appréciée pour une demi-division du vernier, ou pour un demi-centième de millimètre de quartz.

En ayant égard au mode d'action des substances solubles qui dévient les plans de polarisation de la lumière, mode d'après lequel l'effet est toujours proportionnel au titre des dissolutions de ces substances et à l'étendue du trajet de rayon polarisé à travers le liquide, il sera facile de se rendre compte de l'emploi de l'instrument. On concevra que, sachant à priori qu'un mélange soumis à l'analyse ne contient qu'une substance active, le rapport préalablement connu du pouvoir rotatoire de cette substance à celui du quartz pris comme unité de mesure (1) pourra servir à déterminer la quantité de cette même substance qui est mélangée aux autres principes inactifs, pourvu que l'observation soit faite en plaçant les liquides dans des tubes de longueurs déterminées.

Mais, en outre, si parmi différentes substances actives

(1) On ne pourrait présenter d'objection valable contre ce mode de mesure que celle qui se rattacherait à ce fait, que toutes les substances qui agissent sur un rayon polarisé ne dispersent pas, suivant la même loi, les couleurs élémentaires de la lumière blanche; mais le quartz et les solutions saccharines, ainsi que M. Biot l'a reconnu depuis longtemps, déterminant des dispersions proportionnelles, l'instrument de M. Soleil est d'une exactitude irréprochable, tant qu'on ne le détourne pas de sa destination spéciale, la *saccharimétrie*.

Digitized by Google

réunies dans la même dissolution, une seule est de nature à changer sous l'influence des circonstances déterminées où l'on placera le mélange, son pouvoir d'un sens et d'une intensité connus, contre un pouvoir d'un sens inverse et d'intensité égale ou proportionnelle, il sera encore évident que la différence que l'on remarquera entre les résultats d'une première observation qui précédera la réaction, et une seconde qui la suivra, exprimera également la quantité de la substance ainsi modifiée.

Or le sucre cristallisable proprement dit ($C^{12}H^{11}O^{11}$) est généralement dans l'une ou l'autre des deux conditions qui viennent d'être indiquées par rapport aux substances qui l'accompagnent dans les sucs naturels des végétaux et dans les produits commerciaux où l'on peut avoir intérêt à rechercher sa présence et à le doser.

Doué à l'état de solution d'un pouvoir rotatoire, toujours de gauche à droite et d'une intensité constante, quelle que soit son origine, il se convertit, par une réaction facile et prompte, en sucre incristallisable à pouvoir inverse, tandis qu'aucune des substances avec lesquelles on le rencontre, notamment celles qui existent dans le jus de la canne, de la betterave, du maïs et de l'érable, et dans les sucres bruts et les mélasses, ne subit la même réaction.

Telles sont les données fondamentales de la saccharimétrie optique; mais avant de décrire l'ensemble des procédés d'application pratique et de régularisation que je propose, il me reste encore à expliquer un perfectionnement d'un très-grand intérêt apporté en dernier lieu par M. Soleil au saccharimètre, et qui résulte de l'addition d'une pièce que cet opticien appelle le *producteur des teintes sensibles*.

Si les liquides soumis à l'observation étaient tous complétement incolores, et que la lumière employée pour les essais fût constamment de la lumière blanche, les colorations des deux demi-disques de l'image seraient toujours ramenées à la teinte sensible qui est nécessaire pour les éga-

Digitized by Google

liser avec certitude; mais la couleur des dissolutions, la couleur du ciel ou la couleur de la lumière artificielle, si c'est à cette dernière qu'on a recours, venant à s'ajouter aux couleurs produites par la polarisation, changent la teinte et nuisent à l'observation.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Soleil a eu l'heureuse idée d'adopter une disposition qui permet à l'observateur de modifier avec la plus grande facilité les différentes teintes qui se présentent.

Un tube, *fig.* 9 et 9 *bis*, contient en *n* un prisme de Nichol représenté séparément, *fig.* 10, et en *q* une lame de quartz taillée perpendiculairement à l'axe de cristallisation. Ce système se place à volonté à la partie antérieure de l'instrument dans une chape *k*, *fig.* 1, laquelle reçoit un mouvement de rotation au moyen de l'engrenage *h*, correspondant par la tige *h'* à un bouton *b*. Le prisme polariseur *p* agit comme analyseur, relativement à ce système, d'où il suit que le rayon polarisé dans le premier prisme *n*, *fig.* 9, et dispersé par la lame de quartz *q*, fournit, après son passage par le prisme *p*, une lumière colorée dont la teinte varie avec la position du prisme *n*. En faisant tourner le bouton *b*, on obtiendra donc une série de teintes parmi lesquelles on trouvera en général une couleur qui neutralisera avec plus ou moins d'exactitude la teinte du liquide ou de la lumière employée, et l'on retombera de cette manière presque dans les conditions d'un liquide incolore et d'une lumière blanche.

Cependant si l'une des couleurs simples, notamment le rouge, domine fortement dans les dissolutions qu'il s'agit d'observer, le mode de compensation dont il vient d'être question n'est plus suffisant, et il faut alors de toute nécessité décolorer ces mêmes dissolutions avant de les soumettre à l'instrument. On verra tout à l'heure comment on y parvient sans nuire à la régularité des résultats.

Indiquons maintenant, en détail, la méthode d'ana-

Digitized by Google

lyse (1). Les opérations sur lesquelles elle repose sont les suivantes :

1°. Faire des dissolutions titrées des substances soumises à l'analyse;

2°. Déféquer à froid les dissolutions troubles et les décolorer au besoin, sans fausser leur titre, par un moyen prompt et facile;

3°. Régler en peu d'instants l'inversion par un acide du pouvoir du sucre cristallisable sur la lumière polarisée;

4°. Enfin apprécier l'influence de la température sur les notations.

Titre des dissolutions.

16gr,471 de sucre candi parfaitement sec et pur, étant dissous dans l'eau, donnent une liqueur qui, élevée au volume de 100 centimètres cubes, et observée dans un tube de 20 centimètres de longueur, *fig.* 7, détermine une déviation du plan de polarisation, que compense l'action de 1 millimètre de quartz; c'est-à-dire que pour rétablir entre les deux moitiés du disque lumineux, *fig.* 5, l'égalité de

(1) Avant de procéder aux observations, on doit s'assurer que l'instrument est parfaitement réglé. A cet effet, après avoir placé en V, *fig.* 1, un tube vide, ou mieux rempli d'eau, afin de produire une réfraction se rapprochant de celle des liquides sucrés que l'on se propose d'analyser, et dès lors d'être dispensé de changer le pointé de la lunette L, on fait coïncider exactement le zéro du vernier avec celui de l'échelle, et l'on examine si les deux moitiés du disque coloré présentent bien la même teinte. S'il en est autrement, c'est que la section principale du prisme analyseur et celle du prisme polariseur ne sont pas dans leur position normale; on les ramènera à cette position en faisant tourner l'analyseur au moyen du bouton *s*, *fig.* 1 et 1 *bis*, jusqu'à ce que l'on cesse d'apercevoir une différence de coloration entre les deux moitiés du disque.

Il faudra ensuite, par un mouvement convenable donné au bouton *b*, reproduire la teinte sensible qui fera le plus ordinairement reconnaître une légère inégalité de nuance inappréciable avec toute autre teinte, et par un nouveau mouvement du bouton *s*, on obtiendra l'égalité la plus parfaite. On retirera alors le bouton *s* du carré sur lequel il entre à frottement, afin que la position du prisme analyseur ne puisse être dérangée par un mouvement que l'on donnerait involontairement à ce bouton.

Digitized by Google

teinte que détruit l'influence de cette dissolution, il faut faire varier l'épaisseur des lames prismatiques de quartz, en tournant le bouton B, *fig.* 1, de telle sorte que le vernier marque un déplacement de 100 divisions de l'échelle. C'est à cette donnée fondamentale que l'on doit rapporter en premier lieu l'observation d'une substance saccharine quelconque. Il est évident que, si cette substance ne contient aucun principe autre que le sucre cristallisable, qui agisse sur la lumière polarisée, sa richesse saccharine se trouvera exprimée en centièmes de son poids par les résultats de l'observation d'une dissolution réglée comme on vient de l'indiquer. Ainsi, par exemple, sa teneur en sucre cristallisable sera de 50 pour 100, si l'égalité de teinte du disque lumineux a été reproduite en imprimant à l'instrument une marche de 50 divisions.

Les vases dont on se sert pour préparer les dissolutions sont des matras à fond plat et à col étroit, *fig.* 11, dont la capacité se trouve indiquée par un trait de jauge. Il est utile d'en avoir de plusieurs grandeurs, soit, par exemple, de 100, 200 et 300 centimètres cubes, ou du moins de capacités qui soient des multiples du nombre 5. Cette dernière condition étant remplie, une série de poids spéciaux, au nombre de 7, disposés comme l'indique la *fig.* 12, suffit pour faire les pesées rapidement et préparer les dissolutions avec exactitude.

Défécation et décoloration.

Il arrive souvent que les dissolutions sont troubles et fortement colorées, et qu'elles ne pourraient être observées dans cet état. Il faut alors les clarifier, et sinon les rendre complétement incolores, ce qui n'est pas toujours possible, du moins en affaiblir et modifier la teinte. Ce double résultat s'obtient dans la plupart des cas au moyen d'un seul réactif, le sous-acétate de plomb. A cet effet, après avoir introduit dans le matras la substance à analyser avec une certaine quantité d'eau, on réserve un espace de

Digitized by Google

quelques centimètres cubes que l'on remplit jusqu'au trait de jauge avec une dissolution saturée de sous-acétate de plomb; on agite le mélange, et immédiatement les principes colorants se précipitent tous ou presque tous, et entraînent avec eux les corps en suspension qui troublaient la liqueur. Il ne reste ensuite qu'à filtrer cette liqueur avant de l'observer. Pour ne pas multiplier les transvasements, il est convenable de recueillir directement le produit de la filtration dans les tubes, *fig.* 13. Toutefois certaines substances, particulièrement les mélasses, ne seraient pas suffisamment décolorées par le sous-acétate de plomb. Pour leur enlever une teinte rouge, qu'elles conserveraient encore après avoir été traitées par ce sel, il faut de plus les filtrer sur le noir animal.

J'emploie pour cela des tubes en verre, *fig.* 14, qu'on voit en section horizontale, *fig.* 14 *bis;* ils sont garnis à leur partie inférieure d'une double virole de cuivre, *fig.* 15, retenant un feutre de laine au-dessus duquel on place un tampon de coton cardé. Sur ces tubes s'adaptent des entonnoirs en fer-blanc, *fig.* 16, munis d'une soupape ou bouchon, que l'on peut enlever au moyen d'un fil de fer qui s'y trouve attaché. Le bouchon étant en place, on verse dans l'entonnoir une quantité de noir en grains fins, égale en volume au quart de la liqueur que l'on veut blanchir, et dont il convient de préparer au moins 300 centimètres cubes. Cette quantité de noir est mesurée au moyen d'un des verres gradués W, *fig.* 14, humectée avec une partie de la liqueur, agitée et introduite dans le tube en retirant le bouchon de l'entonnoir; on tasse la matière par secousses, et l'on verse le reste de la liqueur qui ne tarde pas à filtrer. Si l'on recueillait indistinctement la totalité de la liqueur filtrée, le titre serait altéré, car le charbon exerce d'abord une absorption sur le sucre; mais en séparant la première partie de la filtration, soit une quantité sensiblement égale à celle du charbon, quantité que l'on reçoit dans le verre gradué déjà employé pour mesurer celui-ci,

Digitized by Google

la liqueur qui passe ensuite conserve son titre primitif, bien que, pour obtenir une plus complète décoloration, on la reverse à différentes reprises sur le noir.

Inversion.

Les préparations qui viennent d'être décrites suffisent à la détermination de la quantité de sucre cristallisable que contiennent les substances où l'on sait que le sucre est le seul principe qui déplace le plan de polarisation; mais si l'on suppose que d'autres principes actifs s'y trouvent réunis, c'est dans cette circonstance que l'on a recours à l'*inversion*, c'est-à-dire à la transformation, par l'action d'un acide, du sucre cristallisable à pouvoir de gauche à droite, en sucre incristallisable à pouvoir inverse. Voici comment on y procède :

La liqueur déféquée, filtrée et rendue incolore, après avoir été soumise à une première observation dont il est pris note, est introduite dans un matras, *fig.* 17, dont le col est marqué de deux traits de jauge indiquant l'un une capacité de 50 centimètres, et l'autre un volume de 55 centimètres, de telle sorte que l'intervalle qui existe entre les deux traits soit égal au dixième de la capacité la plus grande. On verse la liqueur seulement jusqu'à la hauteur du premier trait, et l'on y ajoute, jusqu'au niveau du second trait, de l'acide chlorhydrique pur et fumant. On agite pour que le mélange soit complet, et l'on place le matras dans un bain-marie, *fig.* 18, après y avoir plongé un thermomètre. La température est portée, au moyen d'une lampe à alcool, jusqu'à + 68 degrés, en réglant la flamme de manière à ce que la durée du chauffage soit de dix minutes environ; on retire ensuite le matras du bain-marie et on le dépose dans un second vase rempli d'eau froide, *fig.* 19, afin de ramener la liqueur à la température ambiante. La réaction étant alors terminée, on observe la dissolution acidulée en la renfermant cette fois dans un tube de 22 centimètres de longueur, l'excédant de cette longueur

Digitized by Google

sur celle du tube employé pour la première observation étant destiné à compenser l'effet produit par l'addition de l'acide.

On remarquera maintenant que pour rétablir l'égalité de teinte, il faut faire avancer l'index, c'est-à-dire le zéro du vernier, d'un certain nombre de divisions vers la droite, en partant de la position que lui avait donnée la première observation, ce qui le placera soit à gauche, soit à droite du zéro de l'échelle principale, suivant l'intensité et le sens du pouvoir des substances actives réunies au sucre cristallisable et sur lesquelles l'acide n'a pas d'action ; mais il est évident que dans tous les cas la distance parcourue par l'index mesurera la somme de l'action du sucre cristallisable observée avant l'acidulation, et de celle en sens inverse du sucre incristallisable qui aura été produit sous l'influence de l'acide. En effet, si l'acidulation n'avait fait que détruire l'action du sucre cristallisable, la seconde rotation ne différerait de la première que du nombre de divisions représentant cette action ; mais elle a transformé la totalité de ce sucre en sucre incristallisable à pouvoir contraire ; l'action de ce nouveau sucre s'ajoutera par conséquent à la différence due à la destruction de l'action du sucre cristallisable.

Influence de la température.

Si le coefficient de l'inversion, c'est-à-dire le rapport numérique du pouvoir du sucre interverti au pouvoir du sucre incristallisable, était constant, le problème serait résolu par le résultat des deux observations qui viennent d'être indiquées ; mais la température exerce sur les propriétés optiques des sucres à pouvoir déviateur vers la gauche, une influence très-prononcée que M. Mitscherlich a le premier signalée, soit que ces sucres proviennent du traitement par les acides du sucre cristallisable, soit qu'on les rencontre à l'état naturel dans les sucs des végétaux. J'ai observé également cette influence, et, après en avoir

Digitized by Google

étudié la loi, j'ai dressé la Table ci-jointe, donnant pour chaque degré de température les sommes des notations directe et inverse correspondant aux différents titres des dissolutions. Cette Table est construite pour des titres croissant par centième (avant-dernière colonne A) et pour des températures croissant par degrés depuis + 10 degrés jusqu'à + 35 degrés; ce parcours répond aux éventualités de la pratique, soit en Europe, dans les fabriques, soit aux colonies.

Pour noter la température à laquelle l'observation est faite, on se sert du tube, *fig.* 8, muni d'une tubulure verticale, et l'on place dans cette tubulure un thermomètre *t*, *fig.* 8 et 8 *bis*, disposé de telle sorte que, par un mouvement de frottement de la monture métallique *i* sur la tubulure, on fasse pénétrer à volonté son réservoir jusqu'au centre même du tube, où on le soulève au-dessus du trajet du rayon, afin de laisser passer la lumière.

Voici deux exemples de l'emploi de la Table :

1°. Soit une dissolution d'une substance saccharine préparée dans les rapports de poids et de volume normaux indiqués ci-dessus et donnant avant l'acidulation une notation de..... 75 divisions.

Et après l'inversion (la température d'observation étant de + 15 degrés) une notation de sens inverse de..... 20

Somme de l'inversion..... 95 divisions.

2°. Soit encore une autre liqueur préparée dans les mêmes conditions, donnant avant l'inversion la notation de..... 80 divisions.

Et après l'inversion, à la température de + 20 degrés, une notation encore de même sens, mais seulement de..... 26

Différ. exprimant la valeur de l'inversion. 54 divisions.

Digitized by Google

Les titres des substances des deux dissolutions se trouveront : pour la première, en cherchant quel est le chiffre de la colonne afférente à la température de 15 degrés, qui se rapprochera le plus de la somme d'inversion, 95 divisions; on reconnaîtra que ce chiffre est celui 95,5, et qu'il correspond au titre 70, porté sur la même ligne horizontale dans l'avant-dernière colonne A, d'où l'on conclura que la substance contenait 70 pour 100 de sucre.

Pour la seconde dissolution, le chiffre le plus rapproché de celui de 54 sera 53,6, dans la colonne ouverte pour la température de + 20 degrés, et le titre cherché sera celui de 40 pour 100 porté à la même hauteur dans la colonne des titres. Enfin, on trouvera, en outre, dans la dernière colonne B de la Table, l'indication de la quantité en grammes et centigrammes du sucre contenu par litre dans les dissolutions, et l'on verra que cette quantité est de 115^{gr},29 pour la première, et de 65^{gr},88 pour la seconde.

Passons à des applications en indiquant les moyens accessoires que chacune comporte, et supposons d'abord qu'il soit question d'analyser des cannes à sucre.

Analyse des cannes à sucre.

On formera un échantillon moyen du poids de 200 grammes avec des tranches de cannes coupées au couteau. Ces tranches, soumises à l'action d'une petite presse métallique, *fig.* 20, dont l'énergie, d'après le rapport de la surface de pression à la force du levier, sera au moins égale à la puissance des plus forts moulins à cylindres employés dans les exploitations, donneront un jus (vésou) que l'on versera dans un matras, *fig.* 11, marqué de deux traits de jauge indiquant les capacités de 100 et de 110 centimètres cubes. La liqueur sera élevée seulement jusqu'au trait de la capacité principale; et pour la déféquer et la décolorer, s'il est nécessaire, on ajoutera 5 centimètres cubes environ de sous-acétate de plomb, puis assez d'eau pour atteindre

Digitized by Google

le second trait de jauge. Un autre mode de défécation peut être encore employé avec succès et quelquefois même doit être préféré. Il consiste à faire usage, au lieu de sous-acétate de plomb, d'une dissolution (1) de colle de poisson et d'alcool. On verse d'abord 5 centilitres de cette dissolution; on mélange avec précaution pour éviter de produire de la mousse, en retournant doucement et à plusieurs reprises le matras fermé avec le doigt; on ajoute de l'alcool ordinaire jusqu'au trait qui indique la capacité de 110 centimètres cubes, et l'on agite vivement. La colle de poisson est coagulée par l'alcool, et en deux minutes au plus le jus est complétement clarifié, comme avec le sous-acétate de plomb, en même temps qu'il se trouve étendu, dans un rapport connu, celui du dixième de son volume. On le filtre et on le soumet à l'observation, en se servant, si l'on veut se dispenser de toute correction du résultat, d'un tube de 22 centimètres, afin de compenser l'effet de la dilution produite par l'addition des substances défécantes, sous-acétate de plomb ou colle de poisson et alcool.

Dans le cas, au contraire, où l'on emploierait un tube de 20 centimètres, il faudrait que le titre trouvé fût augmenté d'un dixième à cause de la dilution.

Du reste, en traitant le vésou ou tout autre jus comme il vient d'être indiqué, c'est la richesse saccharine par volume que l'on constate; mais il est facile de convertir le

---

(1) Cette dissolution doit être préparée en faisant macérer à froid dans une petite quantité d'eau (25 centilitres à peu près), pendant trente heures, 5 à 6 grammes de colle de poisson. La macération est facilitée en divisant la membrane en très-petits morceaux que l'on malaxe fortement lorsque le temps nécessaire est écoulé. L'espèce de pâte ainsi obtenue est délayée avec 1 décilitre soit de vin blanc, soit d'eau alcoolisée, et on la passe à travers un tamis de soie. Enfin la masse gélatineuse et opaline ainsi obtenue est étendue avec de l'eau en portant à 1 litre le volume total du mélange. Cette liqueur se conserve pendant au moins quinze à vingt jours sans s'altérer, suivant la température. On doit la tenir dans un flacon non bouché ou simplement couvert avec du papier. On évite de s'en servir lorsqu'elle devient fortement acide.

Digitized by Google

résultat en poids, en prenant la densité de la liqueur et en divisant par le chiffre qui exprime cette densité le poids du sucre correspondant à l'unité de volume.

Nous donnerons un exemple d'une pareille analyse :

200 grammes d'une canne de Taïti cultivée aux Antilles, ont laissé, après l'action de la presse, une pulpe pesant 48 grammes; on a donc obtenu 152 grammes de vésou dont la densité a été reconnue de 1085, et ce vésou, observé au saccharimètre après défécation, a donné une notation directe de, divisions..... 113,0

Plus le dixième pour cause de la dilution résultant de l'addition des substances déféquantes.... 11,3

Total..... 124,3

La notation inverse, après l'acidulation, a été, à la température de + 25 degrés... 36,0
Plus le dixième de ce nombre, toujours à cause de la dilution..... 3,6 } 39,6

Somme de ces deux notations..... 163,9

Ce qui indique, suivant la Table, une quantité de sucre par litre de 204^{gr},24; on remarque en même temps que le nombre 124,3 donné par la première notation, ne diffère que par la fraction $\frac{3}{10}$, entièrement négligeable, de celui porté dans l'avant-dernière colonne de la Table, vis-à-vis le nombre 204,24; d'où l'on doit conclure que le vésou analysé ne contenait aucune substance active autre que du sucre cristallisable.

D'un autre côté, la proportion suivante, 1085 (poids du litre) : 204,24 (poids du sucre par litre) :: 1 : x, donnant pour la valeur de x 0,1882, établit que ce vésou contenait 18,82 pour 100 de sucre. Enfin, en multipliant 0,1882 par 152 grammes, poids du vésou exprimé, on voit que la quantité totale de sucre contenue dans ce vésou était de 28^{gr},60, ce qui répond à 14,30 pour 100 du poids de la canne.

Digitized by Google

Cette analyse s'accomplit en trois quarts d'heure au plus; elle se terminerait en moins d'une demi-heure si l'on se bornait à l'observation directe, c'est-à-dire si l'on s'abstenait de recourir à l'épreuve de l'inversion.

Analyse de la betterave.

Cette analyse ne diffère de celle de la canne que dans la préparation de la pulpe, et en ce que la défécation et la décoloration du jus doivent nécessairement s'effectuer par le sous-acétate de plomb, et non indifféremment par ce réactif ou par la colle de poisson et l'alcool.

La pulpe se râpe avec une petite râpe à main, et comme pour l'analyse de la canne, il est convenable d'en prendre 200 grammes que l'on soumet à la presse, 100 grammes par 100 grammes, en les enveloppant dans un linge. L'action de la presse doit être dirigée avec ménagement, en laissant s'écouler quelques minutes entre les pressions successives que l'on exerce sur le levier, et doit durer environ un quart d'heure. On obtient ainsi un résultat très-comparable à celui que donnent les presses hydrauliques dans les fabriques, et l'on retire de la presse deux tourteaux qu'il est utile de peser pour connaître la quantité de jus que l'on peut obtenir en grand, en déduisant leur poids de celui de la pulpe pressée. Quelle que soit l'espèce des betteraves, la défécation du jus et sa décoloration presque absolue s'opèrent avec la plus grande facilité par le sous-acétate de plomb, et par suite l'observation est toujours très-précise. Elle nécessite généralement l'épreuve de l'inversion, parce que les betteraves contiennent, indépendamment du sucre cristallisable, une certaine quantité d'un principe agissant dans le même sens que ce sucre sur la lumière polarisée, mais dont l'action n'est pas modifiée par les acides. L'acidulation s'opère comme il a été indiqué ci-dessus pour la canne, et il est à observer que la liqueur acidulée conte-

Digitized by Google

nant souvent un excès de sous-acétate de plomb employé pour la défécation, l'addition de l'acide donne naissance à un chlorure de plomb qu'il faut séparer par la filtration.

Un tableau des résultats de trente-quatre analyses de betteraves ainsi opérées est ci-joint.

Analyse des sucres bruts.

La détermination du titre des sucres bruts, soit de canne, soit de betterave, ne nécessite que très-peu d'observations particulières.

C'est toujours sur un poids normal de $16^{gr},471$ de ces sucres qu'il convient d'opérer, et la dissolution se prépare dans un matras de 100 centimètres cubes, c'est-à-dire de la capacité qui correspond à ce poids.

L'échantillon, objet de l'essai, doit être, en premier lieu, trituré dans un mortier, afin qu'il soit bien homogène dans toute la masse et qu'il ne reste pas de parties agglomérées qui se dissoudraient difficilement. Après la pesée, le sucre est introduit, avec 50 ou 60 centimètres cubes d'eau, dans le matras au moyen d'un entonnoir en fer-blanc, à col cylindrique. On agite, et lorsque tout le sucre est dissous, si la teinte l'exige, on décolore par le sous-acétate de plomb, en ajoutant la quantité d'eau nécessaire pour donner à la liqueur le volume exact de 100 centimètres cubes. On filtre, on observe une première fois, on acidule et l'on observe de nouveau.

Une seule analyse se termine ainsi en vingt-cinq ou trente minutes. Cinq ou six essais peuvent se faire simultanément en deux heures environ.

Nous donnons un tableau de cinquante de ces essais. L'ordre des nuances y détermine en premier lieu le classement, et l'on voit dans quel rapport ces nuances se rapprochent ou s'écartent du titre du sucre.

Digitized by Google

Analyse des mélasses.

Les essais de mélasse exigent, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, que les dissolutions soient décolorées avec soin.

On opère sur un poids qui est triple du poids normal de 16gr,471, et l'on prend, par conséquent, 49gr,413 de mélasse que l'on pèse dans une capsule de porcelaine à bec; on délaye d'abord la substance avec de l'eau versée peu à peu, et on la transvase dans un matras de 300 centimètres cubes, en lavant la capsule et en ajoutant les eaux de lavage. Enfin on complète par une nouvelle quantité d'eau le volume de 300 centimètres cubes.

La liqueur ainsi préparée est d'abord filtrée sur du noir animal au moyen de l'un des tubes que représente la *fig.* 14, puis traitée par le sous-acétate de plomb et passée de nouveau sur du noir.

On emploie pour la première filtration 80 centimètres cubes de charbon, et dès qu'on a recueilli au-dessous du titre un égal volume de la dissolution, on la met à part, son filtre étant faussé par l'action initiale du noir. La liqueur qui continue à passer, et qui conserve au contraire son titre primitif, est reçue séparément. On la reverse dix à douze fois sur le noir pour lui faire atteindre le maximum de décoloration qu'il peut donner : d'ailleurs on évite que le noir ne se découvre, afin qu'il ne s'introduise pas dans la masse des bulles d'air qui nuiraient à la filtration. Lorsqu'on reconnaît que le pouvoir décolorant du noir est épuisé, et au moment où le dernier égouttage commence à s'arrêter, on verse dans le tube les premiers 80 centimètres cubes de dissolution tenus en réserve, afin d'obtenir par déplacement une partie de la liqueur qui imbibe le charbon, soit environ 40 centimètres cubes. Cette partie est réunie au produit de la filtration principale, et l'on a en tout un volume de 200 centimètres cubes d'une dissolution dont le titre est régulier.

Digitized by Google

La liqueur, dans cet état, ne présente plus qu'une teinte jaune clair qui ne nuit en aucune manière à l'observation directe. Mais, en l'acidulant, elle passe au rouge, ce qui rendrait la seconde épreuve impossible; et c'est pour empêcher cet effet qu'on a recours à la réaction du sous-acétate de plomb, et ensuite à une seconde filtration sur le noir animal.

Le sous-acétate s'emploie en procédant de tous points comme pour le vésou ou le jus de la betterave, et dès lors l'augmentation de volume dans le rapport d'un dixième qui résulte de son emploi doit entrer en ligne de compte dans le résultat de l'analyse.

Enfin la dernière filtration s'opère en faisant usage de 60 centimètres cubes de noir; elle nécessite, comme la première, la séparation d'un volume de dissolution égal à celui du noir: on obtient ensuite 80 centimètres cubes de liqueur bien décolorée. Cette quantité est suffisante pour les deux observations directe et indirecte. Seulement il est nécessaire de reprendre pour l'acidulation la liqueur déjà observée sans acide.

Un essai complet de mélasse dure environ une heure et demie. C'est évidemment un des plus utiles auxquels les fabricants et les raffineurs puissent se livrer, la quantité de sucre qui reste dans la mélasse, dernier produit des opérations, indiquant le plus ou moins de succès du traitement des jus et des sucres bruts.

Analyse des mélanges de sucres bruts ou de sucres raffinés avec les glucoses concrets.

Le procédé à suivre pour cette analyse ne diffère que par un point de celui déjà indiqué pour les sucres bruts naturels et non mélangés.

Le pouvoir sur la lumière polarisée des glucoses (sucre de fécule, de raisin et de diabète), rapidement dissous, décroît, soit avec le temps sous la température ambiante.

Digitized by Google

soit immédiatement si l'on a recours à la chaleur, et il s'arrête à un point fixe. Il suffit, pour que l'effet soit complet et pour écarter ainsi toute cause de trouble dans l'analyse, d'élever la température de la dissolution à plus de 80 degrés au moyen du bain-marie, et de laisser refroidir.

Analyse des sucres combinés avec les alcalis.

Des observations que l'on doit à M. Dubrunfaut établissent que le sucre, dans ses combinaisons avec les alcalis, particulièrement avec la chaux, perd une partie de son pouvoir rotatoire.

On aurait donc des résultats inexacts, si, en se proposant de doser le sucre par les moyens optiques dans des mélanges qui contiennent des sucrates alcalins, on ne détruisait pas l'effet dû à la présence des alcalis. Pour y parvenir, je verse dans ces dissolutions de l'acide acétique en excès; aussitôt le sucre reprend son pouvoir primitif, et l'essai se continue sans obstacle.

Ici se terminent les exemples que je me proposais de citer pour la recherche et le dosage du sucre cristallisable.

C'est surtout à l'égard de ce sucre que l'analyse, par les caractères optiques, donne des résultats certains à raison des moyens de contrôle que fournit le procédé de l'inversion. Ce contrôle n'existe pas pour le dosage, par les mêmes caractères, des sucres incristallisables, attendu que l'on ne connaît pas jusqu'à présent d'agent qui modifie le pouvoir rotatoire de ceux-ci, à droite pour les uns, à gauche pour les autres, et qui permette de les distinguer de divers principes qui agissent sur la lumière, et qui peuvent se trouver réunis au sucre, tels que l'acide tartrique, la dextrine et différentes espèces de gomme. Mais lorsqu'il s'agit de doser les sucres incristallisables dans des liqueurs que l'on sait ne contenir aucun de ces principes, ou dont on peut séparer

Digitized by Google

avec facilité ceux qui s'y rencontrent, l'observation directe de leur pouvoir donne une solution aussi simple que précise. Or c'est ce qui a lieu particulièrement, d'une part, pour le jus de raisin, dont le sucre, que l'on s'accorde à considérer comme identique avec celui qui est produit par l'action des acides sur le sucre cristallisable, dévie le plan de polarisation de droite à gauche; de l'autre, pour les urines de diabète, qui contiennent un sucre probablement identique avec le sucre de fécule, et dont le pouvoir s'exerce de gauche à droite.

Analyse des jus de raisin.

Le dosage du sucre dans les jus de raisin a une grande importance, en ce qu'il fait connaître à l'avance la richesse alcoolique du vin que produiront ces jus. M. Bouchardat a fait une belle application de ce dosage par la polarisation aux produits de nombreux cépages qu'il a examinés. Il élimine l'acide tartrique que contiennent les jus par le sous-acétate de plomb, et termine la décoloration que commence ce réactif au moyen du noir animal. D'ailleurs, il tient compte de la température qui agit sur le pouvoir du sucre naturel du raisin, ou plutôt il a le soin d'opérer à une température constante, celle de + 15 degrés; et de ses observations contrôlées, en dosant, avec l'appareil de M. Gay-Lussac, l'alcool produit par la fermentation des mêmes jus, il conclut qu'à cette température une déviation de 2 degrés des instruments ordinaires de polarisation, déterminée par une colonne de liquide de 50 centimètres de longueur, correspond à 1 pour 100 d'alcool. En opérant avec l'appareil de M. Soleil, et en se servant du tube normal de 20 centimètres de longueur, le même pouvoir rotatoire donnerait une notation de 3 divisions $\frac{1}{3}$.

Urines diabétiques.

Le sucre de diabète, à l'état naturel dans les urines, dévie vers la droite le plan de polarisation. Il suffit, pour con-

Digitized by Google

stater sa présence et le doser au moyen de cette propriété optique, de clarifier les urines par le sous-acétate de plomb ou par le noir animal. Son pouvoir est à celui du sucre cristallisable comme 73 est à 100, et une notation de 100 divisions sur l'échelle de l'instrument, l'observation étant faite dans un tube de 20 centimètres, correspond à une quantité de 225^{gr},63 de sucre par litre d'urine.

On emploie dix minutes au plus pour un essai d'urine, et l'on peut suivre ainsi, avec la plus grande facilité, les progrès ou l'affaiblissement de la maladie dans toutes ses phases.

Détermination des rendements industriels des substances saccharifères.

La connaissance de la teneur en sucre des substances saccharifères importe à l'industrie, en ce qu'elle lui montre le but vers lequel doivent tendre ses efforts, c'est-à-dire l'extraction la plus complète de ce sucre, en l'isolant et le purifiant. Mais les procédés de fabrication et de raffinage, bien qu'en progrès, ne donnent cependant pas le moyen de retirer des sucs des végétaux, des sucres bruts, des sirops et des mélasses, la totalité du sucre réel qu'on y rencontre. De là l'utilité incontestable de la détermination du rendement possible de ces substances, d'après les moyens d'extraction dont on dispose.

La difficulté de l'extraction du sucre provenant de la présence des matières qui l'accompagnent, j'ai pensé qu'en constatant d'une manière pratique et usuelle la quantité plus ou moins grande des matières étrangères qui s'opposent à l'extraction du sucre, on pouvait déduire du résultat de cette observation une évaluation du rendement. A cet effet, je prépare, dans les rapports de poids et de volumes indiqués pour les essais de saccharimétrie optique, une dissolution de la substance (sucre brut, jus ou sirop) qui est l'objet de l'évaluation, et je prends avec précision sa densité,

Digitized by Google

Je reconnais ensuite, en ayant recours au saccharimètre, quelle est la quantité de sucre que cette dissolution contient, et je défalque du chiffre total qui exprime la densité, la portion de cette même densité que, suivant une Table régulière du poids des mélanges de sucre et d'eau, on doit attribuer à la présence du sucre. L'excédant de densité se rapportant aux substances autres que le sucre est ainsi mis en évidence, et, dans le système que je propose, il indique la quantité de sucre que, selon chaque mode constant de fabrication, on ne pourra extraire, et, par opposition, la quantité de sucre *extractible*, c'est-à-dire le rendement. Mais, pour arriver à la détermination cherchée, les rapports de densité dont il s'agit doivent être préalablement étudiés, une fois pour toutes, dans les produits ordinaires de chaque fabrication; puis les résultats de cette observation normale sont comparés avec ceux des observations usuelles et de même ordre auxquelles on soumet les jus, sirops ou sucres bruts que l'on se propose de traiter par les procédés qui ont donné ces mêmes produits.

Un exemple fera comprendre cette opération. Nous admettrons qu'il soit question d'apprécier le rendement d'un sucre brut destiné à être traité dans une raffinerie où le travail est actuellement conduit de telle sorte, que deux espèces de produits sont uniquement obtenus, du sucre complétement épuré et de la mélasse.

Dans cette hypothèse, l'observation normale portera sur cette mélasse, dont on préparera une dissolution en procédant comme il a été expliqué à l'article de l'analyse optique des mélasses, mais en se servant d'eau distillée, et l'on en prendra la densité, que nous supposerons, l'observation étant faite à la température de + 15 degrés, de... 1,0520

Cette même dissolution sera examinée au saccharimètre, et si son titre saccharin est reconnu de 37 pour 100, on saura, d'après la Table du poids des dissolutions de sucre pur dans l'eau, et en ayant

Digitized by Google

égard aux proportions d'eau et de mélasse constituant le mélange (1), que le sucre est compris dans la densité indiquée ci-dessus pour..... 1,0230

On aura dès lors, pour l'excédant de densité provenant de la présence des substances autres que le sucre..... 0,0290

Après avoir terminé ce premier essai, dont les résultats serviront de base à toutes les déterminations de rendement se rapportant à un même mode de fabrication, mais séparément au traitement, soit des sucres de canne, soit des sucres de betterave (2), on procédera à l'examen du sucre brut.

Ce sucre sera dissout dans de l'eau distillée, toujours en observant les rapports de poids et de volume que nécessite l'analyse optique.

Supposons que la densité de la dissolution, à la température de + 15 degrés, soit de..... 1,0615

Admettons aussi qu'il soit reconnu au saccharimètre que la quantité de sucre réel contenu dans le sucre brut est de 87 pour 100, on en conclura que si ce sucre était la seule substance pondérable dissoute, la densité de la liqueur serait seulement de..... 1,0542

Et l'on reconnaîtra que les substances autres que le sucre déterminent un excédant de densité de... 0,0073

---

(1) On reconnaîtra sans calcul ces proportions en ayant recours à ma Table pour les analyses optiques, qui indique qu'une dissolution donnant une réaction de 37 divisions, contient 60gr,94 de sucre par litre.

(2) La distinction à établir ici entre les sucres de canne et les sucres de betterave est importante, en ce que les mélasses qui proviennent des sucres de canne retiennent, à cause de la nature des substances autres que le sucre qui entrent dans leur composition, moins de sucre cristallisable que celles du sucre de betterave. Dans les premières, il en reste communément de 35 à 37 pour 100, tandis qu'on en reconnaît dans les secondes de 40 à 50 pour 100, lorsqu'on n'a pas employé pour les réduire le système des citernes. Le traitement convenablement dirigé des mélasses de betterave

Digitized by Google

Alors, dans cet exemple, la proportion suivante donnera le chiffre d'évaluation du rendement.

0,0290 (excédant de la densité de la dissolution de mélasse) sont à 0,37 (sucre contenu dans cette mélasse et inextractible) comme 0,0073 (excédant de la densité de la dissolution du sucre brut) sont à x.

Or la valeur de x sera de 9,3, et ce chiffre exprimera la quantité de sucre inextractible engagée dans le sucre brut, comme aussi la différence de 9,3 à 87 indiquera la quantité de sucre que l'on pourra extraire, soit 77,7 pour 100.

En dernier résultat, le mode d'évaluation que j'indique repose sur cette considération, que, dans les fabriques de sucre régulièrement conduites, mais surtout dans les raffineries, on ne détruit, pour ainsi dire, pas de sucre dans le cours des opérations; que seulement on en laisse une certaine quantité engagée dans la mélasse, quantité qui varie suivant le plus ou moins d'abondance des matières, sels minéraux ou mucilages qui accompagnent le sucre. Je reconnais toutefois qu'en dehors de cette cause on doit tenir compte d'un déchet heureusement assez faible dans la fabrication ou le raffinage: mais c'est moins à une transformation du sucre qu'à la perte matérielle de ce qui reste attaché aux parois des vases ou tombe sur le sol, et de ce que retiennent les filtres et surtout le noir animal, qu'il me paraît que ce déchet doit être attribué; et je suis porté à croire que la perte est presque constante, quelle que soit la richesse des substances soumises au travail.

---

dans les citernes paraît les amener, au moyen de la cristallisation lente que l'on obtient ainsi au milieu d'une grande masse de liquide, à un titre saccharin sensiblement le même que celui des mélasses de canne; mais beaucoup de raffineries ne sont pas munies de citernes à mélasse.

Digitized by Google

Table pour l'analyse des substances sacchariféres.

Nota. — Pour les liquides non soumis à l'acidulation, les deux dernières colonnes ont le caractère d'une Table spéciale; alors les chiffres de la colonne A représentent les nombres de degrés trouvés, et ceux de la colonne B les poids en grammes et centigrammes du sucre contenu dans 1 litre de liqueur.

Les nombres fournis par les analyses des sucres concrets seront nécessairement compris dans les cent premières lignes de la Table; les trente lignes suivantes ont été ajoutées pour l'analyse des principales liqueurs sucrées d'un titre élevé, particulièrement pour la détermination du titre du vésou et du jus de la betterave. S'il se présentait des liqueurs d'un titre encore plus élevé, on les ferait rentrer dans les limites de la Table en les étendant d'eau dans un rapport déterminé et en tenant compte de cette dilution par le calcul.

Sommes ou différences des notations directes et inverses, ces dernières étant prises à la température de																										Titres cherchés.	
10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids A.	par volume B.
1.4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1	1,64
2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2	3,29
4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3	4,94
5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4	6,58
6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,8	6,8	6,8	6,7	6,7	6,7	6,7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,5	6,5	6,5	6,4	6,4	6,4	6,4	6,3	6,3	5	8,23
8,3	8,3	8,3	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6	6	9,88
9,7	9,7	9,7	9,6	9,6	9,5	9,5	9,5	9,4	9,4	9,4	9,3	9,3	9,3	9,2	9,2	9,2	9,1	9,1	9,1	9,0	9,0	9,0	8,9	8,9	8,8	7	11,52
11,1	11,1	11,0	11,0	11,0	10,9	10,9	10,8	10,8	10,8	10,7	10,7	10,6	10,6	10,6	10,5	10,5	10,4	10,4	10,4	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2	10,1	8	13,17
12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8	11,7	11,7	11,6	11,6	11,6	11,5	11,5	11,4	11,4	9	14,82
13,9	13,8	13,8	13,7	13,7	13,6	13,6	13,5	13,5	13,4	13,4	13,3	13,3	13,2	13,2	13,1	13,1	13,0	13,0	12,9	12,9	12,8	12,8	12,7	12,7	12,6	10	16,47
15,3	15,2	15,2	15,1	15,1	15,0	15,0	14,9	14,8	14,8	14,7	14,7	14,6	14,6	14,5	14,5	14,4	14,3	14,3	14,2	14,2	14,1	14,1	14,0	14,0	13,9	11	18,11
16,7	16,6	16,6	16,5	16,4	16,4	16,3	16,3	16,2	16,1	16,1	16,0	16,0	15,9	15,8	15,8	15,7	15,7	15,6	15,5	15,5	15,4	15,4	15,3	15,2	15,2	12	19,76
18,1	18,0	17,9	17,9	17,8	17,7	17,7	17,6	17,5	17,5	17,4	17,3	17,3	17,2	17,2	17,1	17,0	17,0	16,9	16,8	16,8	16,7	16,6	16,6	16,5	16,4	13	21,41
19,5	19,4	19,3	19,2	19,2	19,1	19,0	19,0	18,9	18,8	18,8	18,7	18,6	18,5	18,5	18,4	18,3	18,3	18,2	18,1	18,1	18,0	17,9	17,8	17,8	17,7	14	23,05
20,8	20,8	20,7	20,6	20,5	20,5	20,4	20,3	20,2	20,2	20,1	20,0	19,9	19,9	19,8	19,7	19,6	19,6	19,5	19,4	19,3	19,3	19,2	19,1	19,0	19,0	15	24,70
22,2	22,2	22,1	22,0	21,9	21,8	21,8	21,7	21,6	21,5	21,4	21,4	21,3	21,2	21,1	21,0	21,0	20,9	20,8	20,7	20,6	20,6	20,5	20,4	20,3	20,2	16	26,35
23,6	23,5	23,5	23,4	23,3	23,2	23,1	23,0	22,9	22,9	22,8	22,7	22,6	22,5	22,4	22,3	22,3	22,2	22,1	22,0	21,9	21,8	21,7	21,7	21,6	21,5	17	28,00
25,0	24,9	24,8	24,7	24,7	24,6	24,5	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	23,9	23,8	23,8	23,7	23,6	23,5	23,4	23,3	23,2	23,1	23,0	22,9	22,9	22,8	18	29,64
26,4	26,3	26,2	26,1	26,0	25,9	25,8	25,7	25,6	25,5	25,5	25,4	25,3	25,2	25,1	25,0	24,9	24,8	24,7	24,6	24,5	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	19	31,29
27,8	27,7	27,6	27,5	27,4	27,3	27,2	27,1	27,0	26,9	26,8	26,7	26,6	26,5	26,4	26,3	26,2	26,1	26,0	25,9	25,8	25,7	25,6	25,5	25,4	25,3	20	32,94
29,2	29,1	29,0	28,9	28,8	28,7	28,6	28,4	28,3	28,2	28,1	28,0	27,9	27,8	27,7	27,6	27,5	27,4	27,3	27,2	27,1	27,0	26,9	26,8	26,7	26,6	21	34,58
30,6	30,5	30,4	30,2	30,1	30,0	29,9	29,8	29,7	29,6	29,5	29,4	29,3	29,1	29,0	28,9	28,8	28,7	28,6	28,5	28,4	28,3	28,2	28,0	27,9	27,8	22	36,23
32,0	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,3	31,2	31,0	30,9	30,8	30,7	30,6	30,5	30,4	30,2	30,1	30,0	29,9	29,8	29,7	29,5	29,4	29,3	29,2	29,1	23	37,88
33,4	31,2	33,1	33,0	32,9	32,8	32,6	32,5	32,4	32,3	32,2	32,0	31,9	31,8	31,7	31,6	31,4	31,3	31,2	31,1	30,9	30,8	30,7	30,6	30,5	30,4	24	39,53

Digitized by Google

[Suite.] *Table pour l'analyse des substances saccharifères.*

SOMMES OU DIFFÉRENCES DES NOTATIONS DIRECTES ET INVERSES, CES DERNIÈRES ÉTANT PRISES A LA TEMPÉRATURE DE																									TITRES CHERCHÉS	
10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids. A.	par volume. B.
																											gr
34,7	34,6	34,5	34,4	34,2	34,1	34,0	33,9	33,7	33,6	33,5	33,4	33,2	33,1	33,0	32,9	32,7	32,6	32,5	32,4	32,2	32,1	32,0	31,9	31,7	31.6	25	41,17
36,1	36,0	35,9	35,7	35,6	35,5	35,4	35,2	35,1	35,0	34,8	34,7	34,6	34,4	34,3	34,2	34,1	33,9	33,8	33,7	33,5	33,4	33,3	33,1	33,0	32,9	26	42,82
37,5	37,4	37,3	37,1	37,0	36,8	36,7	36,6	36,4	36,3	36,2	36,1	35,9	35,8	35,6	35,5	35,4	35,2	35,1	35,0	34,8	34,7	34,6	34,4	34,3	34,1	27	44,47
38,9	38,8	38,6	38,5	38,4	38,2	38,1	37,9	37,8	37,7	37,5	37,4	37,2	37,1	37,0	36,8	36,7	36,5	36.4	36,3	36,1	36,0	35.8	35,7	35,6	35,4	28	46,11
40,3	40,2	40,0	39,9	39.7	39,6	39,4	39,3	39,1	39,0	38,9	38,7	38,6	38,4	38,3	38,1	38,0	37,8	37,7	37,5	37,4	37,3	37,1	37,0	36.8	36,7	29	47,76
41,7	41,5	41,4	41,2	41,1	40,9	40,8	40,6	40,5	40,3	40,2	40,0	39,9	39,7	39,6	39,4	39,3	39,1	39,0	38,8	38,7	38,5	38,4	38,2	38,1	37,9	30	49,41
43,1	42,9	42,8	42,6	42,5	42,3	42,2	42,0	41,8	41,7	41,5	41,4	41,2	41,1	40,9	40,8	40,6	40,4	40,3	40,1	39,9	39,8	39.7	39,5	39.4	39,2	31	51,06
44,5	44,3	44,2	44,0	43,8	43,7	43,5	43,4	43,2	43,0	42,9	42,7	42,6	42,4	42,2	42,1	41,9	41,8	41,6	41,4	41,3	41,1	41,0	40,8	40,6	40,5	32	52,70
45,9	45,7	45,5	45,4	45,2	45,0	44,9	44,7	44,5	44,4	44,2	44,0	43,9	43,7	43,6	43,4	43,2	43,1	42,9	42,7	42,6	42,4	42,2	42,1	41,9	41,7	33	54,35
47,3	47,1	46,9	46,7	46,6	46,4	46,2	46,1	45,9	45,7	45,6	45,4	45,2	45,0	44,9	44,7	44,5	44,4	44,2	44,0	43,9	43,7	43,5	43,3	43,2	43,0	34	56,00
48,6	48,5	48,3	48,1	47,9	47,8	47,6	47,4	47,2	47,1	46,9	46,7	46,5	46,4	46,2	46,0	45,8	45,7	45,5	45,3	45,1	45,0	44,8	44,6	44,4	44,3	35	57,64
50,0	49,9	49,7	49.5	49.3	49,1	49,0	48,8	48,6	48,4	48,2	48,1	47,9	47,7	47,5	47,3	47,2	47,0	46,8	46,6	46,4	46,3	46,1	45,9	45,7	45,5	36	59,29
51,4	51,2	51,1	50,9	50,7	50,5	50,3	50,1	49,9	49,8	49,6	49,4	49,2	49,0	48,8	48,6	48,5	48,3	48,1	47,9	47,7	47,5	47,4	47,2	47.0	46,8	37	60,94
52,8	52,6	52,4	52,2	52,1	51,9	51.7	51,5	51,3	51,1	50,9	50,7	50,5	50,3	50,2	50,0	49,8	49,6	49,4	49,2	49,0	48,8	48,7	48,4	48,3	48,1	38	62,58
54,2	54,0	53,8	53,6	53,4	53,2	53,0	52,8	52,6	52,4	52.3	52,1	51,9	51,7	51,5	51,3	51,1	50,9	50,7	50,5	50,3	50,1	49,9	49,7	49,5	49 3	39	64,23
55,6	55,4	55,2	55,0	54,8	54,6	54,4	54,2	54,0	53.8	53,6	53,4	53.2	53.0	52,8	52,6	52,4	52,2	52.0	51,8	51,6	51,4	51,2	51,0	50,8	50,6	40	65,88
57,0	56,8	56,6	56,4	56,2	56,0	55,8	55,5	55,3	55,1	54,9	54,7	54,5	54,3	54,1	53,9	53,7	53,5	53,3	53,1	52,9	52,7	52,5	52,3	52.1	51,9	41	67,53
58,4	58,2	58,0	57,7	57,3	57,3	57,1	56.9	56,7	56,5	56,3	56,1	55,9	55,6	55,4	55,2	55,0	54,8	54.6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,5	53,3	53,1	42	69,17
59,8	59,5	59,3	59,1	58,9	58,7	58,5	58,3	58,0	57,8	57,6	57,4	57,2	57,0	56,8	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	55,5	55,2	55,0	54,8	54,6	54,4	43	70,82
61,2	60,9	60,7	60,5	60.3	60,1	59.8	59.6	59,4	59,2	59,0	58,7	58,5	58,3	58,1	57,9	57,6	57,4	57,2	57,0	56,8	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	44	72,47
62,5	62,3	62,1	61,9	61,6	61,4	61,2	61,0	60,7	60,5	60,3	60,1	59,8	59,6	59,4	59,2	58,9	58,7	58,5	58,3	58,0	57,8	57,6	57,4	57,1	56,9	45	74,11
63,9	63,7	63,5	63,2	63,0	62,8	62,6	62,3	62,1	61,9	61,6	61,4	61,2	60,9	60,7	60,5	60,3	60,0	59,8	59,6	59,3	59,1	58,9	58,6	58,4	58,2	46	75,76
65,3	65,1	64,9	64,6	64,4	64,1	63,9	63,7	63,4	63,2	63,0	62,7	62,5	62,3	62,0	61,8	61,6	61,3	61,1	60.9	60.6	60,4	60,2	59,9	59,7	59,4	47	77,41
66,7	66,5	66,2	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64,8	64,6	64,3	64,1	63,8	63,6	63,4	63,1	62,9	62,6	62,4	62.2	61,9	61,7	61,4	61,2	61,0	60,7	48	79,06
68,1	67,9	67,6	67,4	67,1	66,9	66.6	66,4	66,1	65,9	65,7	65,4	65,2	64,9	64,7	64,4	64,2	63,9	63,7	63,4	63.2	63,0	62.7	62,5	62.2	62,0	49	80.70
69,5	69,2	69,0	68,7	68,5	68,2	68,0	67,7	67,5	67,2	67.0	66,7	66,5	66,2	66,0	65,7	65,5	65.2	65,0	64,7	64,5	64,2	64,0	63,7	63,5	63,2	50	82,35
70,9	70,6	70,4	70,1	69,9	69,6	69,4	69,1	68,8	68,6	68.3	68,1	67,8	67,6	67,3	67,1	66,8	66,5	66,3	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64.8	64,5	51	84,00
72,3	72,0	71.8	71 5	71,2	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,7	69,4	69,2	68,9	68,6	68,4	68,1	67,9	67,6	67,3	67,1	66,8	66,6	66,3	66,0	65,8	52	85,64
73,7	73,4	73,1	72,9	72,6	72,3	72.1	71,8	71,5	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,7	69,4	69,2	68,9	68,6	68,4	68,1	67.8	67,6	67,3	67,0	53	87,29
75,1	74,8	74,5	74,2	74,0	73,7	73,4	73,2	72,9	72,6	72,4	72,1	71,8	71,5	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,7	69,4	69,1	68,8	68,6	68,3	54	88,94
76,4	76,2	75,9	75,6	75,3	75,1	74,8	74,5	74,2	74,0	73,7	73,4	73,1	72,9	72,6	72,3	72,0	71,8	71,5	71,2	70,9	70,7	70,4	70,1	69,8	69.6	55	90,59
77,8	77,6	77,3	77,0	76.7	76,4	76,2	75,9	75.6	75,3	75,0	74,8	74,5	74,2	73,9	73,6	73,4	73,1	72,8	72,5	72,2	72,0	71,7	71,4	71,1	70.8	56	92,23
79,2	79,0	78.7	78,4	78,1	77,8	77,5	77,2	76,9	76,7	76,4	76,1	75,8	75,5	75,2	74,9	74,7	74,4	74,1	73,8	73,5	73,2	73,0	72,7	72,4	72,1	57	93,88

Digitized by Google

[Suite.] *Table pour l'analyse des substances sacchariféres.*

SOMMES OU DIFFÉRENCES DES NOTATIONS DIRECTES ET INVERSES, CES DERNIÈRES ÉTANT PRISES A LA TEMPÉRATURE DE																										TITRES cherchés	
10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids A	par vol. B.
																											gr
80,6	80.3	80.0	79.7	79,5	79.2	78,9	78,6	78,3	78,0	77.7	77,4	77,1	76,8	76,6	76,3	76,0	75,7	75,4	75,1	74,8	74,5	74,2	73,9	73.7	73,4	58	95,53
82,0	81,7	81,4	81,1	80,8	80,5	80,2	79,9	79,6	79,3	79,1	78,8	78,5	78,2	77,9	77,6	77,3	77,0	76,7	76,4	76,1	75,8	75,5	75,2	74,9	74,6	59	97,17
83,4	83,1	82,8	82,5	82,2	81,9	81,6	81,3	81.0	80,7	80,4	80,1	79,8	79,5	79,2	78,9	78,6	78,3	78,0	77,7	77.4	77,1	76,8	76.5	76,2	75,9	60	98,82
84,8	84,5	84,2	83,9	83,6	83.3	83,0	82,6	82,3	82,0	81,7	81,4	81,1	80,8	80.5	80,2	79,9	79.6	79.3	79.0	78,7	78,4	78,1	77,8	77,5	77,2	61	100,47
86,2	85,9	85,6	85,2	84,9	84,6	84,3	84,0	83,7	83,4	83,1	82,8	82,5	82,1	81,8	81,5	81,2	80,9	80,6	80,3	80,0	79,7	79,4	79,0	78,7	78,4	62	102,12
87,6	87.2	86,9	86,5	86,3	86,0	85,7	85,4	85,0	84,7	84,4	84,1	83,8	83,5	83.2	82,8	82,5	82,2	81,9	81,6	81,3	80,9	80,6	80.3	80,0	79.7	63	103,76
89.0	88,6	88,3	88,0	87,7	87.4	87,0	86,7	86,4	86,1	85,8	85,4	85,1	84,8	84,5	84,2	83,8	83,5	83,2	82,9	82,6	82,2	81,9	81.6	81,3	81,0	64	105,41
90.3	90.0	89,7	89,4	89,0	88,7	88,1	88,1	87,7	87,4	87,1	86,8	86,4	86,1	85,8	85,5	85,1	84,8	84,5	84,2	83,8	83,5	83,2	82,9	82,5	82,2	65	107,06
91,7	91,4	91,1	90,7	90,4	90,1	89,8	89,4	89,1	88,8	88,4	88,1	87,8	87,4	87,1	86,8	86,5	86,1	85.8	85,5	85,1	84,8	84,5	84,1	83,8	83,5	66	108,70
93,1	92,8	92,5	92,1	91,8	91,4	91.1	90,8	90,4	90,1	89,8	89,4	89,1	88,8	88,4	88,1	87,8	87,4	87,1	86,8	86,4	86,1	85,8	85,4	85,1	84,8	67	110,35
94,5	94.2	93,8	93.5	93,2	92,8	92,5	92,1	91,8	91,5	91,1	90,8	90,4	90,1	89,8	89,4	89,1	88,7	88,4	88,1	87,7	87,4	87,0	86,7	86,4	86,0	68	112,00
95,9	95,6	95,2	94,9	94,5	94,1	93,8	93,5	93,1	92,8	92,5	92,1	91,8	91,4	91,1	90,7	90,4	90,0	89.7	89,3	89,0	88,7	88,3	88.0	87,6	87,3	69	113,64
97,3	96,9	96,6	96,2	95,9	95,5	95,2	94,8	94,5	94,1	93,8	93,4	93,1	92,7	92,4	92,0	91,7	91,3	91,0	90,6	90,3	89,9	89,6	89.2	88,9	88,5	70	115,29
98,7	98.3	98,0	97,6	97,3	96,9	96,6	96,2	95,8	95,5	95,1	94,8	94,4	94,1	93,7	93,4	93,0	92,6	92,3	91,9	91,6	91,2	90,9	90,5	90,2	89,8	71	116.94
100,1	99,7	99,4	99,0	98,6	98,3	97,9	97.6	97,2	96,8	96,5	96 1	95,8	95,4	95,0	94,7	94,3	94,0	93,6	93.2	92,9	92.5	92,2	91,8	91,4	91,1	72	118,59
101,5	101.1	100.7	100,4	100,0	99,6	99,3	98,9	98,5	98,2	97,8	97,4	97,1	96,7	96,4	96,0	95,6	95,3	94,9	94,5	94,2	93.8	93,4	93,1	92,7	92,3	73	120,23
102,9	102.5	102,1	101,7	101,4	101,0	100,6	100,3	99,9	99,5	99.2	98,8	98,4	98,0	97,7	97,3	96,9	96,6	96,2	95,8	95,5	95.1	94,7	94,3	94,0	93,6	74	121,88
104,2	103,9	103,5	103,1	102,7	102,4	102,0	101,6	101,2	100,9	100,5	100,1	99,7	99,4	99,0	98,6	98,2	97,9	97,5	97,1	96,7	96,4	96,0	95.6	95,2	94,9	75	123,53
105,6	105,3	104,9	104,5	104,1	103,7	103,4	103,0	102,6	102,2	101,8	101,5	101,1	100,7	100.3	99,9	99,6	99,2	98,8	98,4	98,0	97,7	97,3	96.9	96,5	96,1	76	125.17
107,0	106,6	106,3	105,9	105,5	105,1	104.7	104,3	103,9	103,6	103,2	102,8	102,4	102,0	101,6	101,2	100,9	100,5	100,1	99,7	99,3	98,9	98,6	98,2	97.8	97,4	77	126,82
108,4	108,0	107,6	107,2	106,9	106,5	106,1	105.7	105,3	104,9	104,5	104,1	103.7	103,3	103,0	102,6	102,2	101,8	101,4	101,0	100,6	100,2	99,8	99,4	99,1	98,7	78	128,47
109,8	109,4	109,0	108,6	108,2	107,8	107,4	107,0	106.6	106,2	105,9	105,5	105,1	104,7	104,3	103.9	103,5	103,1	102,7	102,3	101,9	101.5	101,1	100.7	100,3	99,9	79	130,12
111,2	110,8	110,4	110,0	109,6	109,2	108,8	108,4	108,0	107,6	107,2	106,8	106,4	106,0	105,6	105,2	104,8	104,4	104,0	103,6	103,2	102.8	102,4	102.0	101,6	101,2	80	131,76
112,6	112,2	111,8	111.4	111,0	110,6	110,2	109,7	109,3	108,9	108,5	108,1	107,7	107,3	106,9	106,5	106.1	105,7	105,3	104,9	104,6	104,1	103,7	103.2	102,9	102,5	81	133,41
114,0	113.6	113,2	112,7	112,3	111,9	111.5	111,1	110,7	110,3	109.9	109,5	109,1	108,6	108,2	107,8	107,4	107,0	106,6	106,2	105,9	105,4	105,0	104,5	104,1	103,7	82	135,06
115,4	114,9	114,5	114,1	113,7	113,3	112,9	112,5	112,0	111,6	111,2	110,8	110,4	110,0	109,6	109,1	108,7	108,3	107,9	107,5	107,2	106,6	106,2	105.8	105,4	105,0	83	136,70
116,8	116,3	115,9	115.5	115,1	114,7	114,2	113,8	113,4	113,0	112,6	112,1	111.7	111,3	110,9	110,5	110,0	109,6	109,2	108,8	108,5	107,9	107,5	107,1	106,7	106,3	84	138,35
118,1	117,7	117,3	116,9	116,4	116,0	115,6	115,2	114,7	114,3	113,9	113,5	113,0	112,6	112,2	111.8	111,3	110,9	110,5	110,1	109,7	109,2	108,8	108,4	107,9	107,5	85	140.00
119,5	119.1	118,7	118,2	117,8	117,4	117,0	116,5	116,1	115,7	115,2	114,8	114,4	113,9	113,5	113,1	112,7	112,2	111,8	111.4	111.0	110,5	110,1	109.6	109,2	108,8	86	141,65
120.9	120,5	120,1	119,6	119,2	118,7	118,3	117,9	117,4	117,0	116,6	116,1	115,7	115,3	114,8	114,4	114,0	113,5	113,1	112,7	112,3	111,8	111,4	110,9	110.5	110,0	87	143.29
122,3	121,9	121,4	121,0	120,6	120,1	119,7	119,2	118,8	118,4	117,9	117,5	117,0	116,6	116,2	115,7	115,3	114,8	114,4	114,0	113,6	113,1	112,6	112,2	111,8	111.3	88	144,94
123,7	123,2	122,8	122,4	121,9	121,5	121,0	120,6	120,1	119,7	119,3	118,8	118,4	117,9	117,5	117,0	116,6	116,1	115.7	115,2	114,9	114,4	113,9	113,5	113,0	112,6	89	146,59
125,1	124,6	124,2	123,7	123,3	122,8	122,4	121,9	121,5	121,0	120,6	120,1	119,7	119,2	118,8	118,3	117,9	117,4	117,0	116,5	116,2	115,6	115,2	114,7	114,3	1.3,9	90	148.23
126,5	126,0	125,6	125,1	124,7	124,2	123,8	123,3	122,8	122,4	121,9	121,5	121,0	120,6	120,1	119,7	119,2	118,7	118,3	117,8	117,5	116,9	116,5	116,0	115,6	115,1	91	149,88
127,9	127,4	127,0	126,5	126,0	125,6	125,1	124,7	124,2	123,7	123,3	122,8	122,4	121,9	121,4	121,0	120,5	120,1	119,6	119,1	118,8	118,2	117,8	117,3	116,8	116,4	92	151,53
129,3	128,8	128,3	127,9	127,4	126,9	126,5	126,0	125,5	125,1	124,6	124,1	123,7	123,2	122,8	122,3	121,8	121,4	120,9	120,4	120,1	119,5	119,0	118,6	118,1	117,6	93	153,18
130,7	130,2	129,7	129,2	128.8	128,3	127,8	127,4	126,9	126,4	126,0	125,5	125,0	124,5	124,1	123,6	123,1	122.7	122,2	121,7	121.4	120.8	120,3	119,8	119.4	118,9	94	154.82

Digitized by Google

[Suite.] *Table pour l'analyse des substances saccharifères.*

Sommes ou différences des notations directes et inverses, ces dernières étant prises à la température de																										Titres cherchés	
10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids A.	par vol. B.
																											gr
132,0	131,6	131,1	130,6	130,1	129,7	129,2	128,7	128,2	127,8	127,3	126,8	126,3	125,9	125,4	124,9	124,4	124,0	123,5	123,0	122,6	122,1	121,6	121,1	120,6	120,2	95	156,47
133,4	133,0	122,5	132,0	131,5	131,0	130,6	130,1	129,6	129,1	128,6	128,2	127,7	127,2	126,7	126,2	125,8	125,3	124,8	124,3	123,9	123,4	122,9	122,4	121,9	121,4	96	158,12
134,8	134,3	133,9	133,4	132,9	132,4	131,9	131,4	130,9	130,5	130,0	129,5	129,0	128,5	128,0	127,5	127,1	126,6	126,1	125,6	125,2	124,6	124,2	123,7	123,2	122,7	97	159,76
136,2	135,7	135,2	134,7	134,3	133,8	133,3	132,8	132,3	131,8	131,3	130,8	130,3	129,8	129,4	128,9	128,4	127,9	127,4	126,9	126,5	125,9	125,4	124,9	124,5	124,0	98	161,41
137,6	137,1	136,6	136,1	135,6	135,1	134,6	134,1	133,6	133,1	132,7	132,2	131,7	131,2	130,7	130,2	129,7	129,2	128,7	128,2	127,8	127,2	126,7	126,2	125,7	125,2	99	163,06
139,0	138,5	138,0	137,5	137,0	136,5	136,0	135,5	135,0	134,5	134,0	133,5	133,0	132,5	132,0	131,5	131,0	130,5	130,0	129,5	129,0	128,5	128,0	127,5	127,0	126,5	100	164,71
140,4	139,9	139,4	138,9	138,4	137,9	137,4	136,8	136,3	135,8	135,3	134,8	134,3	133,8	133,3	132,8	132,3	131,8	131,3	130,8	130,3	129,8	129,3	128,8	128,3	127,8	101	166,35
141,8	141,3	140,8	140,2	139,7	139,2	138,7	138,2	137,7	137,2	136,7	136,2	135,7	135,1	134,6	134,1	133,6	133,1	132,6	132,1	131,6	131,1	130,6	130,0	129,5	129,0	102	168,00
143,2	142,6	142,1	141,6	141,1	140,6	140,1	139,6	139,0	138,5	138,0	137,5	137,0	136,5	136,0	135,4	134,9	134,4	133,9	133,4	132,9	132,3	131,8	131,3	130,8	130,3	103	169,65
144,6	144,0	143,5	143,0	142,5	142,0	141,4	140,9	140,4	139,9	139,4	138,8	138,3	137,8	137,3	136,8	136,2	135,7	135,2	134,7	134,2	133,6	133,1	132,6	132,1	131,6	104	171,29
145,9	145,4	144,9	144,4	143,8	143,3	142,8	142,3	141,7	141,2	140,7	140,2	139,6	139,1	138,6	138,1	137,5	137,0	136,5	136,0	135,4	134,9	134,4	133,9	133,3	132,8	105	172,94
147,3	146,8	146,3	145,7	145,2	144,7	144,2	143,6	143,1	142,6	142,0	141,5	141,0	140,5	139,9	139,4	138,9	138,3	137,8	137,3	136,7	136,2	135,7	135,1	134,6	134,1	106	174,59
148,7	148,2	147,7	147,1	146,6	146,0	145,5	145,0	144,5	143,9	143,4	142,8	142,3	141,8	141,2	140,7	140,2	139,6	139,1	138,6	138,0	137,5	137,0	136,4	135,9	135,3	107	176,23
150,1	149,6	149,0	148,5	148,0	147,4	146,9	146,3	145,8	145,3	144,7	144,2	143,6	143,1	142,6	142,0	141,5	140,9	140,4	139,9	139,3	138,8	138,2	137,7	137,2	136,6	108	177,88
151,5	151,0	150,4	149,9	149,3	148,8	148,2	147,7	147,1	146,6	146,1	145,5	145,0	144,4	143,9	143,3	142,8	142,2	141,7	141,1	140,6	140,1	139,5	139,0	138,4	137,9	109	179,53
152,9	152,3	151,8	151,2	150,7	150,1	149,6	149,0	148,5	147,9	147,4	146,8	146,3	145,7	145,2	144,6	144,1	143,5	143,0	142,4	141,9	141,3	140,8	140,2	139,7	139,1	110	181,18
154,3	153,7	153,2	152,6	152,1	151,5	151,0	150,4	149,8	149,3	148,7	148,2	147,6	147,1	146,5	146,0	145,4	144,8	144,3	143,7	143,2	142,6	142,1	141,5	141,0	140,4	111	182,82
155,7	155,1	154,6	154,0	153,4	152,9	152,3	151,8	151,2	150,6	150,1	149,5	149,0	148,4	147,8	147,3	146,7	146,2	145,6	145,0	144,5	143,9	143,4	142,8	142,2	141,7	112	184,47
157,1	156,5	155,9	155,4	154,8	154,2	153,7	153,1	152,5	152,0	151,4	150,8	150,3	149,7	149,2	148,6	148,0	147,5	146,9	146,3	145,8	145,2	144,6	144,1	143,5	142,9	113	186,12
158,5	157,9	157,3	156,7	156,2	155,6	155,0	154,5	153,9	153,3	152,8	152,2	151,6	151,0	150,5	149,9	149,3	148,8	148,2	147,6	147,1	146,5	145,9	145,3	144,8	144,2	114	187,16
159,8	159,3	158,7	158,1	157,5	157,0	156,4	155,8	155,2	154,7	154,1	153,5	152,9	152,4	151,8	151,2	150,6	150,1	149,5	148,9	148,3	147,8	147,2	146,6	146,0	145,5	115	189,41
161,2	160,6	160,1	159,5	158,9	158,3	157,8	157,2	156,6	156,0	154,4	154,9	154,3	153,7	153,1	152,5	152,0	151,4	150,8	150,2	149,6	149,1	148,5	147,9	147,3	146,7	116	191,06
162,6	162,0	161,5	160,9	160,3	159,7	159,0	158,5	157,9	157,4	156,9	156,2	155,6	155,0	154,4	153,8	153,3	152,7	152,1	151,5	150,9	150,3	149,8	149,2	148,6	148,0	117	192,11
164,0	163,4	162,8	162,2	161,7	161,1	160,5	159,9	159,3	158,7	158,1	157,5	156,9	156,3	155,8	155,2	154,6	154,0	153,4	152,8	152,2	151,6	151,0	150,4	149,9	149,3	118	194,35
165,4	164,8	164,2	163,6	163,0	162,4	161,8	161,2	160,6	160,0	159,5	158,9	158,3	157,7	157,1	156,5	155,9	155,3	154,7	154,1	153,5	152,9	152,3	151,7	151,1	150,5	119	196,00
166,8	166,2	165,6	165,0	164,4	163,8	163,2	162,6	162,0	161,4	160,8	160,2	159,6	159,0	158,4	157,8	157,2	156,6	156,0	155,4	154,8	154,2	153,6	153,0	152,4	151,8	120	197,65
168,2	167,6	167,0	166,4	165,8	165,2	164,6	163,9	163,3	162,7	162,1	161,5	160,9	160,3	159,7	159,1	158,5	157,9	157,3	156,7	156,1	155,5	154,9	154,3	153,7	153,1	121	199,29
169,6	169,0	168,4	167,7	167,1	166,5	165,9	165,3	164,7	164,1	163,5	162,9	162,3	161,6	161,0	160,4	159,8	159,2	158,6	158,0	157,4	156,8	156,2	155,5	154,9	154,3	122	200,94
171,0	170,3	169,7	169,1	168,5	167,9	167,3	166,7	166,0	165,4	164,8	164,2	163,6	163,0	162,4	161,7	161,1	160,5	159,9	159,3	158,7	158,0	157,4	156,8	156,2	155,6	123	202,59
172,4	171,7	171,1	170,5	169,9	169,3	168,6	168,0	167,4	166,8	166,2	165,5	164,9	164,3	163,7	163,1	162,5	161,8	161,2	160,6	160,0	159,3	158,7	158,1	157,5	156,9	124	204,24
173,7	173,1	172,5	171,9	171,2	170,6	170,0	169,4	168,7	168,1	167,5	166,9	166,2	165,6	165,0	164,4	163,7	163,1	162,5	161,9	161,2	160,6	160,0	159,4	158,7	158,1	125	205,88
175,1	174,5	173,9	173,2	172,6	172,0	171,4	170,7	170,1	169,5	168,8	168,2	167,6	166,9	166,3	165,7	165,1	164,4	163,8	163,2	162,5	161,9	161,3	160,6	160,0	159,4	126	207,53
176,5	175,9	175,3	174,6	174,0	173,2	172,7	172,1	171,4	170,8	170,2	169,5	168,9	168,3	167,6	167,0	166,4	165,7	165,1	164,5	163,8	163,2	162,6	161,9	161,3	160,6	127	209,18
177,9	177,3	176,6	176,0	175,4	174,7	174,1	173,4	172,8	172,2	171,5	170,9	170,2	169,6	169,0	168,3	167,7	167,0	166,4	165,8	165,1	164,5	163,8	163,2	162,6	161,9	128	210,82
179,3	178,7	178,0	177,4	176,7	176,1	175,4	174,8	174,1	173,5	172,9	172,2	171,6	170,9	170,3	169,7	169,0	168,3	167,7	167,0	166,4	165,8	165,1	164,6	163,8	163,2	129	212,47
180,7	180,0	179,4	178,7	178,1	177,4	176,8	176,1	175,5	174,8	174,2	173,5	172,9	172,2	171,6	170,9	170,3	169,6	169,0	168,3	167,7	167,0	166,4	165,7	165,1	164,4	130	214,21

Digitized by Google

Essais de 50 échantillons de sucres bruts exotiques classés par nuances depuis la plus sombre jusqu'à la plus blanche.

NUMÉROS des échantillons	LIEUX de provenance.	NUANCES.	QUANTITÉS de sucre réel.	NUMÉROS des échantillons.	LIEUX de provenance	NUANCES.	QUANTITÉS de sucre réel.
			p. 100.				p. 100.
1	Brésil	Brun foncé	81,0	26	Bourbon	Jaunâtre clair	91,0
2	Martinique	*Id.*	80,0	27	Martinique	*Id*	89,0
3	Bourbon	Brun jaune	81,5	28	La Havane	*Id*	90,0
4	Surinam	*Id*	87,0	29	*Id*	*Id*	93,0
5	Brésil	*Id*	84,0	30	*Id*	*Id*	91,0
6	Bourbon	Rougeâtre	84,0	31	Guadeloupe	*Id*	88,5
7	Java	*Id*	88,5	32	Bourbon	*Id*	93,0
8	Bourbon	Gris sombre	84,0	33	Guadeloupe	*Id*	85,5
9	Guadeloupe	*Id*	83,0	34	*Id*	*Id*	92,0
10	Java	Rougeâtre clair	81,0	35	*Id*	*Id*	94,0
11	Bourbon	*Id*	91,5	36	*Id*	*Id*	94,5
12	Egypte	*Id*	86,0	37	*Id*	*Id*	95,0
13	Brésil	*Id*	82,0	38	Bourbon	*Id*	95,0
14	*Id*	*Id*	86,0	39	La Havane	*Id*	96,5
15	Surinam	Brun clair	91,0	40	Bourbon	*Id*	96,0
16	Guadeloupe	Brun jaunâtre	87,0	41	Guadeloupe	*Id*	94,0
17	Surinam	*Id*	91,5	42	*Id*	*Id*	95,0
18	Bourbon	Gris jaunâtre	90,5	43	Marie-Galante	*Id*	95,0
19	Martinique	*Id.*	86,0	44	Guadeloupe	*Id.*	95,0
20	*Id*	*Id.*	89,0	45	*Id.*	Gris très-clair	96,0
21	*Id.*	*Id.*	89,5	46	*Id.*	*Id.*	96,5
22	*Id.*	Jaunâtre	90,5	47	*Id.*	*Id.*	97,0
23	Brésil	*Id.*	92,0	48	Bourbon	Presque blanc.	96,5
24	Guadeloupe	*Id.*	83,0	49	Guadeloupe	*Id.*	99,0
25	*Id.*	Jaune rougeâtre	90,0	50	Nouvelle-Orléans.	Blanc.	100,0

Digitized by Google

Essais de betteraves.

LIEUX DE CULTURE.	ESPÈCES.	POIDS des racines.	DATES de l'arrachage	DATES des essais.	SECTIONS des racines.	DENSITÉS des jus à + 15° température.	NOTATIONS directes des jus.	NOTATIONS indirectes. Température.	NOTATIONS indirectes. Déviation	SOMMES des inversions.	SUCRE contenu dans 1 lit. de jus.
		k	1847.	1847.				°			gr
Verrières (S.-et-O.)	Jaune d'Allemag.	0,300	3 sept.	8 sept.	Totalite.	103,1	35,55	18	8,25	41,00	51,06
Id...	*Id*	0,300	*Id.*	*Id.*	*Id.*	104,6	60,50	20	17,60	78,10	95,53
Id.....	*Id*	0,300	*Id.*	9 sept.	*Id.*	104,6	60,50	18	17,05	77,55	93,88
Id	Disette à peau rouge...	0,300	*Id.*	*Id.*	*Id.*	106,7	94,60	21	27,05	122,10	151,53
Id.....	*Id*	0,400	*Id.*	*Id.*	*Id.*	105,5	77,00	22	20,90	97,90	121,88
Id.....	Blanche....	0,410	14 sept.	16 sept.	*Id.*	105,9	84,70	22	22,00	106,70	131,76
Id.....	*Id*	0,280	*Id.*	17 sept.	*Id.*	106,3	89,65	22	25,30	114,95	141,65
Id.....	Disette.....	0,300	*Id.*	*Id.*	*Id.*	105,5	77,00	21	23,00	100,00	123,53
Id.....	Jaune d'Allemag.	0,350	*Id.*	18 sept.	*Id.*	104,3	58,30	20	13,75	72,05	88,94
Id.....	*Id.*	0,350	*Id.*	19 sept.	*Id.*	104,8	60,50	18	17,60	78,10	95,53
Id.....	Blanche.	0,850	30 sept.	2 oct.	*Id.*	104,6	59,40	23	14,85	74,25	92,23
Id.....	*Id.*	0,214	*Id*	3 oct.	*Id.*	106,7	88,00	18	26,40	114,40	140,00
Id.....	Jaune d'Allemag.	0,600	*Id.*	*Id*	*Id.*	104,6	63,80	20	17,60	81,40	100,47
Id.....	*Id*	0,250	*Id.*	*Id*	*Id.*	105,0	66,55	23	20,90	87,40	108,70
Id.....	Disette.....	0,500	*Id.*	4 oct.	*Id.*	106,0	85,80	18	26,95	112,75	138,35
Id.....	*Id.*	0,400	*Id.*	*Id.*	*Id.*	106,1	86,35	21	27,50	113,85	140,00
Santes (Nord).....	Blanche.	1,500	1er nov.	5 nov.	Centre..	105,0	61,60	16	18,70	80,30	97,17
Id.....	Même racine....	1,500	*Id.*	*Id.*	Tête....	105,2	62,70	13	20,00	83,70	100,47

Digitized by Google

[Suite.] *Essais de betteraves.*

LIEUX DE CULTURE.	ESPÈCES.	POIDS des racines.	DATES de l'arrachage	DATES des essais.	SECTIONS des racines.	DENSITÉS des jus à + 15° température.	NOTATIONS directes des jus.	NOTATIONS indirectes. Température.	NOTATIONS indirectes. Déviation	SOMMES des inversions.	SUCRE contenu dans 1 lit. de jus.
		k	**1847.**	**1847.**				°			
Verrières (S.-et-O.)	Blanche.....	0,200	10 nov.	12 nov.	Centre..	105,6	64,90	17	23,65	88,55	107,06
Id......	*Id.*.....	0,200	*Id.*	18 nov.	Tête....	106,0	81,40	17	27,50	108,90	131,76
Santes (Nord).....	Jaune.....	1,500	15 déc.	16 déc.	Tête....	105,4	63,80	12	18,15	81,95	97,17
Id......	Même racine....	1,500	*Id.*	*Id.*	Centre..	105,4	68,20	14	19,80	88,00	105,41
Id......	Blanche.....	1,500	*Id.*	*Id.*	Tête....	106,0	81,40	17	25,30	106,70	130,12
Id	Même racine. ..	1,500	*Id.*	*Id.*	Centre..	105,8	75,90	22	25,30	101,20	125,17
			1848.	**1848.**							
Id......	Blanche.....	1,500	1er janv.	3 janv	Tête....	104,7	55,55	17	15,95	71,50	87,29
Id......	Même racine....	1,500	*Id.*	*Id.*	Centre..	105,0	66,00	15	21,45	87,45	105,41
Id......	Jaune.....	1,500	*Id.*	5 janv.	Tête....	105,2	63,25	11	18,70	81,95	98,82
Id......	Même racine...	1,500	*Id.*	*Id.*	Centre..	105,4	68,75	15	20,35	89,10	107,06
Lisandré (C.-du-N.)	Blanche	1,500	15 janv.	25 janv.	Totalité.	103,4	27,50	13	9,90	37,40	44,47
Id......	Rose.....	1,000	*Id.*	*Id.*	*Id.*	105,5	56,10	10	22,00	78,10	92,23
Santes (Nord).....	Blanche.....	1,700	18 janv.	20 janv.	Tête....	105,0	57,20	10	17,60	74,80	88,94
Id......	Même racine. ..	1,700	*Id.*	*Id.*	Centre..	105,4	69,30	10	23,10	92,40	108,70
Id......	Jaune	1,300	*Id.*	26 janv	Tête....	104,6	48,40	15	13,20	61,60	74,11
Id......	Même racine...	1,300	*Id.*	*Id.*	Tête....	104,6	56,10	10	17,50	75,60	88,94

Digitized by Google

SUR LA QUANTITÉ D'AMMONIAQUE CONTENUE DANS L'AIR ATMOSPHÉRIQUE;

PAR M. R. FRESENIUS.

On sait que les physiologistes attribuent à l'ammoniaque contenue dans l'atmosphère un rôle important dans la nutrition des plantes. Il est, par conséquent, du plus haut intérêt de poser et de résoudre, au point de vue de l'analyse, la question relative aux proportions d'ammoniaque contenue dans l'air atmosphérique. Il est évident que l'ammoniaque doit être un élément essentiellement variable de l'atmosphère, et dépendant des influences les plus variées. Néanmoins on conçoit qu'il soit possible de trouver, même pour cet élément variable, une moyenne qui puisse servir de base aux calculs qui nécessitent une donnée de cette nature.

La plupart des expériences qui ont été faites sur l'ammoniaque atmosphérique sont purement qualitatives, c'est-à-dire qu'elles se bornent à constater réellement la présence de l'ammoniaque dans l'air. Je citerai à ce sujet les déterminations de Scheele, de Saussure, de Collard de Martigny, de Faraday, de Zimmermann, de Brandon, de Chevallier et de Liebig. On connaît cependant deux essais d'analyse quantitative qui ont été entrepris sur ce sujet, et publiés par MM. A. Gräger et G. Kemp.

M. A. Gräger, pharmacien à Mulhouse, a fait passer, pendant quelques journées pluvieuses (les 14, 15, 16 et 17 mai 1845), 36 pieds cubes = 1 112 mètres cubes d'air à $744^{mm},97$ et à $10^{o},5$ centigrades, à travers un appareil renfermant de l'acide chlorhydrique. Il a déterminé la quantité de sel ammoniac formé, en évaporant la liqueur acide au bain-marie, après y avoir ajouté du chlorure de platine, et a repris le résidu par de l'alcool éthéré. Le chlorure de platine ammoniacal recueilli pesait 0,006, et cor-

Digitized by Google

respondait par conséquent à $0^{gr},0007$ d'ammoniaque (NH^4O). Mais $1^{mc},112$ d'air réduit à 0 degrés et à $760^{mm} = 1^{mc},06$, pèse 1 377 grammes, et par conséquent 1 000 000 de parties d'air renferment 0,508 d'oxyde d'ammonium = 0,323 d'ammoniaque (NH^3) = 0,938 NH^4O, CO^2.

Déjà, dans le *Compte rendu annuel des Annales de Chimie et de Pharmacie*, t. III, p. 209, on trouve une critique des expériences de M. Gräger, auquel on peut objecter avec raison de ne pas avoir tenu compte de l'ammoniaque que les réactifs eux-mêmes pouvaient contenir.

M. G. Kemp a déterminé la quantité d'ammoniaque contenue dans l'air pris à 300 pieds au-dessus de la mer d'Irlande, en faisant passer cet air, à l'aide d'un aspirateur, à travers une dissolution de sublimé corrosif. L'expérience terminée, il a fait bouillir la dissolution de sublimé, et a recueilli le précipité blanc obtenu. Le poids de ce précipité ainsi modifié par l'ébullition, et auquel M. Kemp attribue la composition $HgCl + 2HgO + HgAd$, lui a permis de calculer la quantité d'ammoniaque qui avait été condensée. Sans vouloir entreprendre ici une critique de cette nouvelle méthode de doser l'ammoniaque, je me contenterai de citer les résultats numériques obtenus par M. Kemp. Ce chimiste annonce que 24 840 pouces d'air recueillis le dernier juin et le 1er juillet, lui ont fourni $1^{milligr},8$ d'ammoniaque. Or, on sait que 1 pouce cube anglais = $16^{cc},38$; par conséquent, 24 840 pouces cubes = 406 879 centimètres cubes; et si l'on admet que l'air, au moment de l'expérience, ait été à 18 degrés et à 745 millimètres de pression, les 406 879 centimètres cubes se réduisent à 376 274 centimètres cubes, et pèsent $489^{gr},156$. D'après cela, 1 000 000 de parties d'air renferment en poids 3,68 d'ammoniaque = 5,81 d'oxyde d'ammonium = 10,37 NH^4O, CO^2.

Il résulte de ces données numériques que M. Kemp a trouvé, pour la quantité d'ammoniaque contenue dans l'air, un chiffre onze fois plus considérable que M. Gräger, qui,

Digitized by Google

de son côté, paraît avoir obtenu des résultats déjà trop élevés pour avoir négligé de tenir compte de l'ammoniaque des réactifs.

Les détails dans lesquels je viens d'entrer prouvent que la question est loin d'être résolue. Pour dissiper l'incertitude qui règne encore à cet égard, je me suis proposé de déterminer des moyennes correspondant aux différentes saisons, et se rapportant à l'air pris le jour et à l'air recueilli la nuit. A cet effet, je me suis fait construire deux aspirateurs d'égale capacité, pouvant contenir chacun 10 000 centimètres cubes. Chacun d'eux est muni d'un tube à entonnoir, qui plonge jusqu'au fond, d'un robinet de déversement et de deux robinets placés à la partie supérieure. Les deux gazomètres sont toujours disposés de sorte que l'eau qui s'écoule du premier tombe dans le second, à l'aide d'un siphon. Chaque soir et chaque matin, le siphon est adapté au gazomètre rempli d'eau. Au-dessus de chaque gazomètre est fixé à demeure un petit appareil condenseur formé par deux petits ballons joints entre eux par des tubes convenablement recourbés, et remplis d'acide chlorhydrique très-étendu.

Ainsi l'air du jour traversait toujours un des appareils condenseurs, tandis que l'air de la nuit passait constamment à travers l'autre. La quantité d'eau qui s'était écoulée pouvait être appréciée à l'aide d'un tube communiquant et gradué. L'air a été aspiré par un long tube qui traversait une ouverture pratiquée au toit de ma maison, qui est située sur une hauteur à l'extrémité de la ville de Wiesbaden. Ce tube dépassait le toit de quelques pieds, et était protégé à son extrémité de telle manière que la pluie ne pût jamais y pénétrer. Entre le tube aspirateur et le gazomètre, se trouvait un autre tube rempli de coton.

J'ai interrompu les expériences après que l'appareil eut fonctionné pendant quarante jours, aux mois d'août et de septembre 1848.

De ces quarante journées, dix-sept ont été belles; pen-

Digitized by Google

dant treize jours, le ciel a été couvert, et pendant les dix autres, il a fait un temps pluvieux. Quatorze nuits sur quarante ont été sereines, dix-huit ont été sombres, et il a plu pendant huit nuits. La quantité d'air diurne qui a passé à travers l'appareil s'est élevée, au mois d'août à 218650 centimètres cubes, au mois de septembre à 126600 centimètres cubes, en tout, à 345250 centimètres cubes. La quantité d'air nocturne s'est élevée, au mois d'août à 217050 centimètres cubes, au mois de septembre à 127200 centimètres cubes, en tout, à 344250 centimètres cubes.

L'acide chlorhydrique employé était formé de 1 partie d'acide pur d'une densité de 1,12 et de 20 parties d'eau. On avait préparé cette solution en grand et on avait eu soin de la conserver dans des flacons bien bouchés. Chaque petit matras renfermait 50 grammes de cet acide étendu, de sorte que chaque appareil condenseur en contenait 100 grammes.

L'expérience terminée, chaque portion d'acide chlorhydrique a été mélangée dans une capsule de porcelaine avec 4 grammes d'une solution étendue de chlorure de platine. Pour rincer chaque appareil, on a employé 96 grammes d'eau distillée qui furent ajoutés au liquide acide. Le contenu des capsules a été évaporé avec précaution au bain-marie dans une chambre spécialement affectée à cette expérience; le résidu a été épuisé par un mélange de 2 volumes d'alcool concentré et de 1 volume d'éther, et le chlorure de platine ammoniacal, qui est resté à l'état insoluble, a été recueilli sur de petits filtres de papier de Suède, séchés à 100 degrés, et dont le poids avait été déterminé à plusieurs reprises avec beaucoup de soin; le précipité a été lavé avec de l'alcool éthéré, dont on a employé 26 grammes en tout. En même temps, on a mélangé 100 grammes de l'acide étendu qui avait servi à l'expérience, avec 4 grammes de chlorure de platine et 96 grammes d'eau dis-

Digitized by Google

tillée. On a évaporé ce mélange, et on a traité le résidu par 26 grammes d'alcool éthéré. Il est resté une trace de chlorure de platine ammoniacal qui a été recueilli comme il a été dit précédemment.

En pesant à plusieurs reprises les filtres séchés à 100 degrés et renfermés dans des creusets de platine, j'ai reconnu qu'il était impossible de déterminer leur poids à $\frac{1}{10}$ de milligramme près, à cause des variations de l'état hygroscopique de l'air et de la température. J'ai donc pris le parti de les incinérer isolément dans un creuset de platine, et de déterminer le poids des cendres et du platine restant. Chaque pesée a été répétée après que le creuset eut été calciné une seconde fois. Le résidu de platine était d'ailleurs parfaitement exempt de chlorure de potassium, ce qui indiquait l'absence, dans le précipité ammoniacal, de chlorure double de potassium et de platine.

J'ajoute que $0^{gr},2487$ de papier à filtre séché à 100 degrés ont laissé $0^{gr},0011$ de cendres.

Voici les résultats que j'ai obtenus :

a. L'acide chlorhydrique, le chlorure de platine et l'eau seule ont fourni : platine et cendres.....	0,00270
Le filtre pesait 0,2004 et devait laisser : cendres....	0,00088
Reste : platine. ...	0,00182
b. L'air diurne a donné : platine et cendres	0,00270
Le filtre pesait 0,1451 et a dû laisser : cendres.....	0,00064
Reste : platine.....	0,00206
c. L'air nocturne a fourni : platine et cendres.....	0,00290
Le filtre pesait 0,1532 et a dû laisser : cendres.....	0,00067
Reste : platine.....	0,00223

Si l'on retranche la quantité de platine obtenue en *a* des quantités obtenues en *b* et en *c*, on obtient :

Pour *b*... 0,00205 — 0,00182 = $0^{gr},00024$;
Pour *c*... 0,00233 — 0,00182 = $0^{gr},00041$.

Digitized by Google

Mais 0gr,00024 de platine correspond à 0,000063 d'ammonium, et 0,00041 de platine correspond à 0,000108 d'oxyde d'ammonium.

Le volume d'air qui avait renfermé la première quantité d'ammoniaque était de 345 250 centimètres cubes. Comme on peut admettre qu'en moyenne cet air était à 18 degrés et sous la pression de 745 millimètres, il devait occuper, à 0 degrés et à 760 millimètres, un volume égal à 317500 centimètres cubes pesant 412gr,464. D'après cela, 1 000 000 de parties d'air diurne renfermaient 0,153 d'oxyde d'ammonium, correspondant à 0,098 d'ammoniaque et à 0,283 parties de carbonate d'ammoniaque. 334 250 centimètres cubes d'air nocturne à la température et à la pression normale se réduisent à 323 291 centimètres cubes, pesant 420gr,278. D'après cela, 1 000 000 de parties d'air nocturne renferment 0,257 d'oxyde d'ammonium, correspondant à 0,169 d'ammoniaque et à 0,474 de carbonate d'ammoniaque.

J'ai réuni dans le tableau suivant les résultats de mes expériences, mis en regard avec ceux de MM. Grâger et Kemp.

1 000 000 de parties d'air renferment :

		AMMONIAQUE.	OXYDE d'ammonium	CARBONATE d'ammoniaque.
Grâger.....		0,333	0,508	0,938
Kemp.....		3,880	5,610	10,370
Fresenius .	air diurne.....	0,098	0,153	0,283
	air nocturne...	0,169	0,257	0,474
Fresenius, en moyenne.....		0,133	0,205	0,379

Les quantités d'ammoniaque trouvées dans l'air sont donc entre elles dans les rapports suivants :

Fresenius.				
Air diurne.	Nocturne.	Grâger.	Kemp.
1 :	1,7 :	3,4 :	37,5

Certes, il est loin de ma pensée d'attribuer à mes expé-

Digitized by Google

riences une grande valeur, quoique j'aie apporté le plus grand soin dans toutes mes opérations, et que j'aie eu à ma disposition une excellente balance. Je ne me dissimule pas que les quantités de platine que j'ai trouvées étaient trop petites. Toutefois je crois pouvoir, dès à présent, tirer de mes expériences les conclusions suivantes :

1°. Les déterminations faites jusqu'à présent sur la quantité d'ammoniaque contenue dans l'air, ont donné des résultats trop élevés; car les différences entre les analyses sont si grandes, qu'il est impossible de les attribuer à un changement de composition de l'air, à moins que ce changement ne soit produit d'une manière accidentelle et purement locale. J'ajouterai que, pour mon compte, je ne me suis certainement pas trompé dans les pesées de plus de $0^{gr},00005$.

2°. Pour déterminer avec exactitude la quantité d'ammoniaque contenue dans l'atmosphère, il faut soumettre à l'expérience des quantités d'air bien plus grandes qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Il convient d'opérer au moins sur 12 000 à 15 000 litres, pour que l'on puisse recueillir au moins 10 milligrammes de platine.

3°. En attendant, et jusqu'à ce qu'on ait exécuté des recherches sur une grande échelle, mes expériences peuvent servir comme données approximatives.

S'il est vrai que l'air nocturne est plus riche en ammoniaque que l'air diurne, on peut expliquer ce fait par les phénomènes qu'offre la nutrition des plantes, et par cette circonstance, que l'ammoniaque qui s'accumule dans l'air pendant le jour et pendant la nuit est dissous, et précipité par la rosée au lever du soleil.

Si l'on admet avec M. Marchand que l'atmosphère pèse 5 263 623 000 000 000 000 de kilogrammes, et qu'on suppose que sa composition est partout identique, il résulterait de mes expériences que l'air contient 4 079 042 kilogrammes d'ammoniaque.

Digitized by Google

MÉMOIRE

Sur l'emploi de l'iodure de potassium pour combattre les affections saturnines et mercurielles;

PAR M. MELSENS,

Membre correspondant de l'Académie royale de Bruxelles, de la Société Philomatique, etc.

(Présenté à l'Institut dans la séance du 12 mars 1849.)

Dès 1843, M. le docteur Natalis Guillot et moi, nous nous sommes occupés ensemble de l'action thérapeutique de l'iodure de potassium dans les maladies chroniques provoquées par des composés métalliques vénéneux.

Ce travail, commencé sous les auspices et dans le laboratoire particulier de M. Dumas, a été interrompu à différentes reprises par suite de circonstances personnelles.

Éloigné de mon collaborateur, M. le docteur N. Guillot, j'ai fait seul quelques expériences plus décisives que celles que nous avions jadis pu faire ensemble, soit au point de vue de la thérapeutique, soit au point de vue purement chimique. Elles m'ont permis de mettre la dernière main à ce travail; circonstance qui a paru à mon ami constituer un motif assez puissant pour exiger que la publication du présent Mémoire fût faite en mon nom.

Je regrette de me trouver obligé de le publier seul, car il serait difficile de tracer la ligne de démarcation entre les idées du chimiste et celles du médecin dans la conception et la conduite de cette longue série d'expériences ou d'observations.

Qu'il me soit permis de le remercier publiquement des conseils qu'il m'a souvent donnés dans ce travail, auquel il ne manquera pas, je l'espère, de porter la dernière main, quand il sera placé dans des circonstances favorables.

J'aurais pu ajouter à mon Mémoire quelques observations faites à Almaden par le docteur don Gervasio Sanchez

Digitized by Google

Aparicio, et qui viennent encore à l'appui de mes opinions pour le traitement par l'iodure de potassium considéré comme moyen curatif. Si je ne le fais pas, c'est que j'espère que le savant médecin des mines d'Almaden, aidé, du reste, de la protection bienveillante et éclairée du directeur général des Mines d'Espagne, don Rafaël Cavanillas, pourra en peu de temps avoir une série complète d'expériences sur l'iodure de potassium considéré soit comme moyen curatif, soit comme moyen préventif dans les affections mercurielles.

Les médecins me pardonneront sans doute d'avoir traité en chimiste, dans ce Mémoire, la question de la guérison des maladies dues aux composés métalliques. Je leur laisse le soin de discuter les effets de l'administration de l'iodure de potassium, d'après les cas et les symptômes si divers que ces maladies présentent, ainsi que l'influence de traitements secondaires, qui sans doute rendront cette médication plus rapide, plus énergique.

Dès mes premières études, je me suis placé au point de vue le plus simple; je n'ai jamais vu que deux choses bien distinctes : *la maladie par la présence du poison dans l'animal; la guérison par l'expulsion du poison hors du corps de l'animal.*

On se fait difficilement une idée des obstacles inhérents à des recherches de la nature de celles que renferme ce travail, et qui, du reste, se présentent toujours, lorsqu'on veut lier entre elles et sur les mêmes individus les observations médicales et les recherches chimiques ou physiologiques.

Mon intention est de revenir plus tard sur les lésions anatomiques, et surtout sur les effets physiologiques que je ne suis pas parvenu encore à éclairer d'une façon complète. Ainsi, lorsque j'ai cherché à me rendre compte de la route que les différents iodures suivent dans le corps, j'ai pu constater seulement qu'il doit en effet y avoir des différences marquées sous ce rapport; mais les expériences que j'ai pu

Digitized by Google

faire jusqu'à présent ne m'ont pas permis de trancher sans réplique une question aussi délicate.

Il me paraît résulter de plusieurs expériences, que l'iodure de potassium ne se rend pas indistinctement dans tous les organes de l'économie, et qu'il y a, sous ce rapport, des différences incontestables. Ainsi, le sang du cœur et le sang du foie ne semblent pas contenir des quantités semblables d'iodure de potassium; des différences appréciables à l'œil existent non-seulement entre le cœur et le foie, mais aussi entre les poumons, la rate, les reins, le cerveau, l'œil, la langue : on rencontre des composés iodés dans le foie, alors qu'ils font absolument défaut dans le liquide de la vésicule biliaire; le mucus qui baigne le canal intestinal, la plèvre, etc., contient des composés d'iode; mais les matières renfermées dans le canal intestinal lui-même n'en contiennent ordinairement jamais au delà des $\frac{2}{3}$ de sa longueur totale.

On trouve de l'iodure de potassium dans le canal intestinal, bien au-dessous du canal cholédoque, alors que le fiel ne contient pas de traces de composés d'iode; mais si, d'après les idées qu'on peut se faire sur la localisation des poisons, les composés doubles vénéneux d'iode passaient par la vésicule biliaire en partie pour se rejeter dans le canal intestinal, ils repasseraient nécessairement dans l'économie, puisque vers l'anus on ne retrouve jamais des composés iodés. Ce fait, bien constaté, expliquerait pourquoi, indépendamment d'autres circonstances, la médication est lente et comment l'intervention de traitements secondaires pourrait être utile. Supposons, en effet, qu'un chien empoisonné par des composés de plomb soit soumis au traitement de l'iodure de potassium, et que l'iodure double qui en résulte, passant par le foie et la vésicule biliaire, vienne se verser dans le canal intestinal pour retourner de là dans l'économie, on concevra de suite l'intervention utile des purgatifs et en particulier du sulfate de magnésie associé à l'iodure de potassium. Je n'aurais pas émis cette opinion

Digitized by Google

si quelques faits ne m'autorisaient à croire que, dans certains cas, les phénomènes peuvent se passer ainsi, et s'il n'y avait aucun avantage pour la médecine pratique à chercher à éclairer cette question.

§ I. — *Bases sur lesquelles repose la médication par l'iodure de potassium.*

Rendre solubles les composés métalliques que l'économie peut garder et en faciliter l'excrétion en les associant à un corps qu'elle puisse éliminer avec la plus grande facilité.

Tel est l'énoncé du traitement, par l'iodure de potassium, des maladies dues au mercure et au plomb. Il diffère essentiellement, au point de vue chimique, de ceux qui ont été proposés. Il est bien entendu qu'on ne le compare en rien aux moyens thérapeutiques destinés à agir sur le système nerveux, ni à provoquer de larges évacuations, tels que les purgatifs violents, les diurétiques, les sudorifiques, etc.

On supposait généralement que le mercure, que le plomb se trouvaient réellement à l'état de sels solubles dans l'économie, ce qui est bien douteux, surtout pour le dernier de ces métaux. Plusieurs des remèdes fondés sur un point de vue chimique, avaient pour but de former des composés insolubles, qu'on supposait, d'autre part, être sans action sur l'économie. Or, je prouverai plus loin que le sulfate de plomb, par exemple, est si loin d'être sans action sur l'économie, que sa présence amène nécessairement la mort dans un temps donné; ce qui conduit à distinguer l'intoxication lente de l'empoisonnement rapide:

Dans les cas d'empoisonnement métallique, la médication chimique ancienne cherche donc à rendre insolubles des poisons supposés solubles. La médication par l'iodure de potassium cherche, au contraire, à rendre solubles des composés métalliques fixés par l'économie, et à les rendre ainsi propres à être repris par le sang, puis à être rejetés au dehors.

Digitized by Google

§ II. — *Innocuité de l'iodure de potassium pris à la dose de 2 à 6 grammes par jour pour un adulte.*

J'ai pris, en deux mois, environ 150 grammes d'iodure de potassium; j'avais commencé par prendre 2 grammes par jour, et j'allai en augmentant, mais en interrompant parfois, pendant quelques jours, jusqu'à la dose de 6 grammes.

Ce traitement ne m'a fait éprouver aucune douleur, aucun dérangement. J'eus le coryza pendant les premiers jours, quelques boutons sur la peau, une saveur particulière dans la bouche, mais sans arrière-goût métallique; mon appétit avait augmenté.

§ III. — *Les reins constituent l'émonctoire principal de l'iodure de potassium; on ne parvient même à faire passer ce sel qu'avec beaucoup de difficulté dans les défécations.*

Il me fut facile de constater la présence de l'iode dans les produits expectorés, la transpiration, la salive, les larmes; le mucus nasal en contenait, mais très-peu.

Ma surprise fut grande lorsque, examinant la matière fécale de deux malades qui prenaient 5 grammes d'iodure de potassium par jour, je n'y pus découvrir la moindre trace d'iode; leur urine recueillie à part en contenait beaucoup. Je lessivai 1 kilogramme de matière fécale; j'examinai la lessive par les réactifs ordinaires, la dissolution de fécule, un acide et le chlore : il n'y eut pas de résultat. Comme les matières organiques pouvaient masquer les réactions, j'incinérai 1 kilogramme de ces matières rendues alcalines par de la potasse, et provenant d'un autre malade; il me fut impossible d'y reconnaître la présence de l'iode.

J'examinai ma matière fécale pendant quatre jours de suite, alors que je prenais 6 grammes d'iodure de potassium par jour; j'opérai sur environ 200 grammes de matière fécale humide, que je calcinai avec précaution après l'avoir rendue alcaline par la potasse.

Digitized by Google

La première fois, je ne trouvai pas de trace d'iode; la deuxième et la troisième fois, il y en avait, mais des traces seulement; la quatrième fois, il n'y en avait absolument pas.

Je voulus reconnaître ensuite comment l'iodure de potassium s'éliminerait de l'économie en l'associant à un purgatif énergique. Après un lavement, je pris 60 grammes de sulfate de soude et 4 grammes d'iodure de potassium. Le résidu salin provenant de trois fortes selles ne contenait qu'une très-petite quantité d'iode, tandis que l'urine en était très-chargée. Une quatrième selle, douze heures après les dernières, ne contenait plus de trace d'iode.

L'émonctoire principal de l'iodure de potassium est donc le rein.

§ IV. — *Tous les composés de mercure qui peuvent se réaliser dans l'économie sont solubles dans l'iodure de potassium; le mercure métallique lui-même s'y dissout; la présence des matières organiques de l'économie n'empêche pas ces réactions.*

On comprendra aisément les motifs qui m'ont conduit à proposer l'iodure de potassium pour traiter les maladies résultant de l'intoxication par le plomb et le mercure, surtout lorsque la maladie se présente sous une forme chronique.

Occupons-nous d'abord du mercure.

On sait que des individus qui avaient été traités par des médications mercurielles ont vu, même plusieurs années après le traitement, des objets d'or s'amalgamer au contact de leur transpiration, lorsqu'on les soumettait à des transpirations très-fortes par des bains de vapeur, etc., etc. Si ce fait est vrai, il prouve que l'économie peut absorber et garder le mercure pendant très-longtemps, sous des formes que je ne cherche pas à définir, mais qui résultent très-probablement des composés insolubles que les sels de mercure forment, soit avec les matériaux organiques et inorga-

Digitized by Google

niques de l'économie, soit avec ces deux espèces de produits réunis. Peut-être même, le mercure peut-il s'y trouver à l'état de métal, comme on l'a admis; toujours est-il qu'il se trouve dans l'économie dans un état tel, qu'elle le garde.

Les combinaisons principales que le mercure pourrait former ainsi, se réduisent surtout aux suivantes :

1°. Combinaisons du sublimé corrosif soit en nature, soit modifié avec les matières animales de l'économie, savoir :
- *a.* L'albumine.
- *b.* L'albumine et les matières du cerveau.
- *c.* La gélatine.
- *d.* Les matières extractives azotées du sang, de la chair musculaire, de l'urine, etc.
- *e.* L'albumine, la fibrine, la chair musculaire, la gélatine, soit naturelles, soit modifiées par la digestion.
- *f.* Les matières de la bile.

2°. Des savons de mercure.

3°. Des phosphates de mercure.

4°. Du mercure métallique (?).

Tous ces composés sont solubles dans l'iodure de potassium neutre, alcalin, pur, en dissolution dans l'un des liquides de l'économie. J'ai fait les expériences avec toutes les matières que je viens de citer; elles réussissent toujours et dans toutes les circonstances.

Si l'iodure de potassium est associé à un acide étendu, qui n'a d'action énergique ni sur la dissolution de ce sel, ni sur les principes qu'on rencontre dans l'économie, la dissolution des composés insolubles de mercure se fait encore parfaitement; cette dernière expérience a été faite particulièrement avec l'acide lactique.

Vient-on à fixer le sublimé sur des filets nerveux, de la chair musculaire ou des tendons, il suffit de les laver pendant quelque temps avec une dissolution d'iodure de potassium acide, neutre ou alcaline; n'importe son état de saturation, le sel de mercure finit par être enlevé. C'est surtout avec une dissolution d'albumine et de sublimé qu'on dé-

Digitized by Google

montre parfaitement ces propriétés; c'est une expérience de cours qui se fait depuis plusieurs années au cours de M. Dumas, à l'Ecole de Médecine; il suffit, en effet, de verser une dissolution d'iodure de potassium sur le précipité formé par l'albumine et le sublimé, pour voir le liquide devenir limpide à l'instant même.

L'iodure de mercure jouit d'une propriété que je dois signaler : il se dissout, comme on sait, dans la potasse caustique; l'économie ne réalise pas cette condition, mais l'alcalinité de la plupart des liquides qu'elle charrie mérite de fixer l'attention, et acquiert un certain degré d'intérêt quand on la met en regard avec l'expérience suivante.

J'ai divisé grossièrement du mercure sous une couche d'eau tenant en dissolution de la potasse caustique et de l'iodure de potassium. Après quelques semaines de contact, une quantité très-notable de mercure s'était dissoute dans ce liquide.

On sait en effet que le mercure métallique, en présence des chlorures alcalins dissous, passe en partie à l'état de chlorure lui-même; il me restait à prouver que cette réaction pouvait avoir lieu dans des liqueurs parfaitement neutres, ou mieux alcalinisées : il fallait se mettre à l'abri de l'intervention de l'acide carbonique de l'air, ou des acides répandus parfois dans l'air des laboratoires.

Cette expérience me paraissait devoir être faite surtout en songeant qu'on pourrait, à la rigueur, admettre que le mercure métallique, et se conservant tel dans l'économie, pouvait provoquer l'intoxication; auquel cas l'expérience que je viens de citer permettrait encore d'espérer que le poison se dissoudrait au contact de l'iodure de potassium, alcalinisé par les liquides de l'économie.

Lorsqu'on agite du mercure métallique avec une dissolution d'iodure de potassium parfaitement neutre, ou légèrement acidulée par l'acide chlorhydrique, cette dissolution acquiert bientôt, par l'agitation, une réaction

Digitized by Google

alcaline, preuve incontestable que l'oxygène de l'air s'est porté sur le potassium de l'iodure qui a cédé son iode au mercure; celui-ci, passant à l'état d'iodure de mercure, se combine avec l'excès d'iodure de potassium. Il suffit d'agiter vivement une dissolution neutre ou même très-légèrement acide d'iodure de potassium avec un excès de mercure pur, pendant une minute, pour voir la réaction s'accomplir. Cette expérience se ferait donc facilement dans les cours pour démontrer la tendance des sels haloïdes alcalins à former des sels doubles avec les sels haloïdes correspondants des métaux proprement dits.

Un phénomène analogue se passe, mais beaucoup plus difficilement, avec le sel marin; du reste, la potasse seule provoque l'oxydation du mercure et dissout de petites quantités d'oxyde. Lorsqu'on fait toutes ces expériences en vaisseau clos, il est facile de se rendre compte de la disparition de l'oxygène, en faisant l'analyse de l'air confiné sur lequel on opère.

§ V. — *Rapidité avec laquelle l'iodure de potassium traverse l'économie.*

Si ces propriétés de l'iodure de potassium semblent remarquables par elles-mêmes, elles acquièrent un nouveau degré d'intérêt lorsqu'on les met en regard avec les phénomènes que ce sel nous présente dans son passage à travers l'économie.

En effet, si les iodures alcalins ont une très-grande tendance à s'unir aux iodures métalliques, associés ou non avec des matières organiques, les premiers possèdent la propriété de passer dans l'urine avec beaucoup de rapidité, et, lorsqu'ils sont purs, l'économie s'en débarrasse entièrement dans un temps très-court.

N'est-il pas très-probable que l'élimination de l'iodure alcalin est accompagnée de l'élimination des composés

Digitized by Google

doubles ou triples, qu'il est si facile de produire dans le laboratoire?

J'attache quelque importance à montrer la rapidité avec laquelle l'iodure de potassium passe de l'estomac dans l'urine, et combien peu de temps il faut pour que l'économie en soit complétement débarrassée. Voici quelques expériences qui le prouvent. Une personne prend 5 grammes d'iodure de potassium, après avoir eu soin d'évacuer son urine : quelques minutes après, on pouvait déceler la présence d'un composé d'iode dans l'urine nouvellement rendue. Cette expérience a été répétée; on a toujours trouvé de l'iode dans l'urine au premier besoin d'uriner.

L'expérience suivante prouve la rapidité avec laquelle l'économie se débarrasse de la majeure partie de l'iodure de potassium ingéré : J'ai pris 44 grammes d'iodure de potassium en 8 jours (4 jours à 5 grammes et 4 jours à 6 grammes); après avoir interrompu l'administration du sel, j'examinais mon urine par l'eau d'amidon, un acide et le chlore, à chaque évacuation, et, dès le surlendemain du jour où j'avais cessé de prendre de l'iodure de potassium, il me fut impossible d'y déceler sa présence par ce procédé, tandis qu'il m'était facile d'y reconnaître la moindre trace d'iodure que j'y ajoutais.

Les iodures doubles s'élimineraient-ils aussi facilement et de la même façon? Tout porte à le croire. Quoi qu'il en soit, cette expérience m'a semblé digne d'attention.

§ VI. — *On ne peut donner directement, pour les composés de plomb, toutes les preuves de dissolution accumulées pour les sels de mercure.*

Tout ce que nous avons dit de la solubilité des composés de mercure dans l'iodure de potassium, devient moins net et plus difficile à prouver lorsqu'il s'agit des composés de plomb. Je me contenterai donc de faire observer que l'iodure de plomb est soluble dans les liquides alcalins, qu'il a

Digitized by Google

une tendance marquée à se combiner avec les iodures alcalins. Ces motifs m'ont paru assez puissants pour engager les médecins à employer le traitement par l'iodure de potassium dans des maladies qu'on soulage, il est vrai, mais qu'on ne guérit jamais, ou très-rarement, d'une manière radicale, d'après les médecins les plus distingués.

J'ai constaté que le plomb métallique se dissout dans un liquide alcalinisé par la potasse, et tenant en dissolution de l'iodure de potassium.

On sait avec quelle rapidité certains métaux s'oxydent lorsqu'ils sont exposés à l'air humide en présence d'acides même faibles, comme l'acide carbonique de l'air : c'est le cas du fer, du plomb même. L'intervention d'un alcali suffit quelquefois pour empêcher l'oxydation : tel est le cas du fer. Le plomb, le cuivre, le zinc s'oxydent, au contraire, plus rapidement au contact d'une liqueur alcaline.

J'ai constaté que la grenaille de plomb parfaitement métallique, baignée par une dissolution d'iodure de potassium rendue alcaline par de la potasse, se dissout en partie et à la longue dans ce mélange.

§ VII. — *Les coliques de plomb surviennent surtout après les lavages à l'eau seconde.*

Il m'a paru d'autant plus digne de citer cette propriété que possède le plomb métallique d'être facilement attaqué par des liqueurs alcalines en présence de l'air, qu'on semble admettre encore assez généralement que le plomb se trouve à l'état de sel dans l'économie, tandis que tout porte à croire qu'il s'y trouve à l'état dissimulé, ou mieux à l'état de plombate de soude. Un fait, qui semblerait indiquer jusqu'à un certain point la probabilité de cette dernière assertion, m'a frappé plusieurs fois. Lorsqu'on interroge avec attention les peintres, en leur faisant bien préciser l'époque de leurs atteintes, les circonstances dans lesquelles ils se trouvaient, il arrive très-souvent qu'ils répondent que les dou-

Digitized by Google

leurs les prennent après des lavages de vieilles peintures. Or on sait que ces lavages se font avec des dissolutions alcalines.

§ VIII. — *Succédanés de l'iodure de potassium, pour les maladies dues aux métaux vénéneux.*

Je ne pense pas devoir citer d'autres iodures alcalins, terreux ou métalliques, comme pouvant remplacer l'iodure de potassium; l'action d'autres iodures, bien que pouvant peut-être faire varier l'énergie de la médication, sera toujours la même au fond.

La propriété que possèdent beaucoup de sels à base alcaline de s'unir à des sels correspondants à base métallique, permet de supposer que l'emploi des chlorures, bromures, etc., pourrait intervenir efficacement dans le traitement de ces terribles maladies; un excès de sel marin dans le régime ordinaire semble déjà être utile et agir comme préservatif; ainsi, il m'est arrivé souvent, en m'informant des habitudes de vie des ouvriers que le fléau de ces maladies respecte ou atteint moins intensement, de m'enquérir s'ils aimaient à manger leurs mets salés. Ceux qui m'ont dit qu'ils aimaient le sel ont moins souffert ou ont été préservés. J'ai eu occasion de faire cette observation sur une dizaine d'ouvriers au mercure; elle mériterait bien d'être contrôlée par les médecins praticiens. Dans ce cas, le sel agit-il comme excitant ou agit-il, comme on pourrait le supposer, en rendant plus stables et plus solubles les combinaisons de mercure et en favorisant leur expulsion?

Le cyanure double de potassium et de fer, qui peut se prendre à haute dose sans inconvénient, au moins pendant quelques jours, comme je l'ai constaté de nouveau sur des chiens, pourrait être utile, surtout pour les maladies dues au mercure.

Digitized by Google

§ IX. — *Cas de maladies saturnines.*

Examinons maintenant les faits sur lesquels je me fonde pour engager les médecins à employer l'iodure de potassium dans les maladies chroniques provenant de composés métalliques vénéneux.

1°. M. Boucher, peintre en bâtiments. Rachialgie saturnine. Paralysie incomplète des avant-bras. Coliques saturnines. Traité sans succès, à l'hospice de la Charité, dans deux services différents, ainsi qu'à l'hôpital Cochin.

Du 10 décembre au 13 mars 1844, il prend 200 grammes d'iodure de potassium. A cette dernière époque, il est complétement guéri.

Ce malade s'était soigné chez lui ; dès qu'il a pu prendre des aliments, nous l'avons laissé libre de suivre son régime et ses habitudes. Il avait à sa disposition une dissolution titrée d'iodure de potassium ; il a commencé à faible dose ; il interrompait parfois pendant quelques jours ; il augmentait ou diminuait ses doses en se laissant guider par ses douleurs et ses sensations.

A la date du 27 mai, il avait déjà travaillé et se portait toujours bien, malgré la faiblesse de ses avant-bras ; on lui ordonna des frictions avec un onguent composé d'axonge, d'iodure de potassium et d'un peu de carbonate de soude. Il s'en trouva très-bien ; si la paralysie ne disparut pas tout à fait, au moins avait-il acquis de la force dans les mains.

Au moment de la dissolution ou de la transformation des composés métalliques fixés dans l'économie, des phénomènes d'empoisonnement aigu déterminés par le mélange des matières devenues solubles ou entraînées sous une forme nouvelle peuvent se présenter. Ces phénomènes ont d'abord été d'une intensité telle chez Boucher, qu'on aurait pu croire la médication plus nuisible qu'utile ; mais c'est là cependant la preuve irrécusable de l'énergie du médica-

Digitized by Google

ment : la dose d'iodure qui provoqua ces phénomènes ne s'élevait qu'à 3 grammes par jour.

Lorsque ce malade a commencé son traitement, son urine était d'un brun foncé, elle était colorée ainsi depuis très-longtemps ; mais, dès les premiers jours de l'administration du médicament, elle se décolora et finit par reprendre la teinte ordinaire des urines : plusieurs malades m'ont fourni l'occasion de faire cette observation.

2°. Un fondeur en caractères se plaignait de tranchées et de faiblesse des jambes ; 180 grammes d'iodure de potassium le remirent parfaitement.

3°. Un ouvrier, âgé de 40 à 45 ans, qui avait travaillé dans une fabrique de céruse, et dans un atelier pour la fabrication des cartes de visite, était à l'hôpital depuis plus de six semaines ; il était faible et très-défait lorsqu'on le soumit au traitement par l'iodure de potassium.

On ne saurait se faire une idée de la rapidité de l'amélioration chez cet homme ; il changeait à vue d'œil. Il sortit de l'hôpital complétement guéri après trois semaines.

On avait assez rapidement augmenté la dose d'iodure ; à sa sortie de l'hôpital, il en prenait 5 grammes par jour.

4°. Un homme, âgé de 50 ans environ, avait été soumis à divers traitements, mais sans succès ; il pouvait à peine se soutenir lorsqu'il commença son traitement ; tous ses membres étaient plus ou moins paralysés ; il était pâle et maigre.

Après quatre ou cinq semaines de traitement, il était parfaitement bien ; il demanda lui-même à quitter l'hôpital.

Lorsqu'on a commencé son traitement, son urine était d'un brun foncé ; quinze jours après, elle avait la couleur de l'urine normale.

5°. Ordinairement, les chiens et les chats meurent en très-peu de temps dans la plupart des établissements où l'on travaille le plomb ou ses composés ; les rats, les souris n'y séjournent pas. Tous les animaux offrent des symptômes

Digitized by Google

morbides analogues à ceux qu'on observe chez l'homme.

Une chienne de taille moyenne garde une terrasse recouverte de plomb; au mois de septembre 1840, elle s'empoisonna en mangeant une vessie dans laquelle les peintres conservent leurs couleurs; elle fut prise de coliques, de vomissements, etc. Elle guérit, mais elle resta maigre. L'année suivante, vers la même époque, elle eut de nouveau des coliques, des vomissements, etc.; guérie une seconde fois, elle demeura sujette à des crises semblables. Ces phénomènes se répètent quatre ou cinq fois par an, toujours avec les mêmes symptômes qui ne varient que par l'intensité.

A dater du 25 du mois d'octobre 1843, et pendant qu'elle se trouvait dans un moment de crise, elle a été soumise à un traitement par l'iodure de potassium qu'on mélangeait avec ses aliments; elle en a pris 200 grammes en quarante-neuf jours, répartis de la manière suivante :

24	jours à	2	grammes par jour...	48	grammes
10	»	4	»	40	»
7	»	6	»	42	»
8	»	8	»	64	»
49	jours			194	d'iodure de potassium.

On peut donc porter l'administration de l'iodure de potassium à une dose élevée, car le poids de la chienne guérie pouvait être d'environ 10 kilogrammes; pendant que l'animal prenait la dose la plus élevée, sa vue était très-affaiblie, mais quelques jours après, elle était revenue complétement à l'état normal.

A la suite de ce traitement, la chienne était non-seulement rétablie, mais elle ne s'était jamais aussi bien portée. Pendant l'année qui avait précédé son traitement, elle était très-maigre; à la suite de sa dernière crise, elle était d'une maigreur excessive. Après avoir pris 200 grammes d'iodure, elle était positivement grasse; mais, pendant cette médication, elle avait un appétit vorace.

Digitized by Google

Au 30 mars 1844, elle fut reprise par une crise nouvelle, mais beaucoup moins intense que les anciennes; elle hurla moins et maigrit beaucoup moins que dans ses crises précédentes.

Le 3 avril, on la remit de nouveau au traitement par l'iodure de potassium de la manière suivante :

10 jours à	2 grammes par jour...	20 grammes
10 »	4 »	40 »
10 »	6 »	60 »
30 jours.		120 d'iodure de potassium.

Elle fut guérie de nouveau.

Tout porte à croire que cette maladie, qui se représentait périodiquement, était due à son contact avec le plomb de la terrasse. Les circonstances ne m'ont pas permis de pousser cette recherche plus loin et de vérifier cette conjecture par l'expérience directe; toutefois, en la soustrayant à l'influence du plomb de la terrasse, elle vécut six mois sans présenter aucun symptôme de la maladie.

§ X. — *L'acide sulfurique ou les sulfates ne peuvent servir d'antidote contre des empoisonnements chroniques par les sels ou les composés de plomb; le sulfate de plomb étant un poison lent, mais sûr, capable de tuer des chiens vigoureux en vingt ou trente jours.*

On croit encore assez généralement que l'acide sulfurique est un antidote ou un préservatif des empoisonnements chroniques par les composés de plomb, que la limonade sulfurique empêche les effets nuisibles dus au travail du plomb ou de ses composés; on pense que le sulfate de plomb étant un composé insoluble ou peu soluble, doit être sans action sur les animaux : mais les faits qu'on cite à l'appui n'ont été étudiés, dans aucun cas, de façon à permettre une conclusion bien rigoureuse.

Je comprends parfaitement qu'on administre du sulfate de magnésie à un individu qui aurait avalé un sel soluble de

Digitized by Google

plomb, et que la double décomposition qui s'opère sur le sel non absorbé encore, puisse empêcher des accidents graves; mais la question change de face lorsqu'il s'agit d'intoxications lentes, de maladies chroniques. Est-il bien prouvé qu'il n'y a pas assez de sulfates solubles dans le sang pour précipiter la quantité de sels de plomb solubles qui peuvent s'y rencontrer à la suite du travail des ouvriers soumis à des causes très-lentes d'intoxication?

Est-il bien prouvé que l'acide sulfurique puisse arriver en nature dans les parties de l'économie dans lesquelles il y aurait des sels de plomb à précipiter?

Mais on ignore même à quel état les composés de plomb peuvent se trouver dans l'économie! Est-ce à l'état de sels proprement dits, dans lesquels le métal jouerait le rôle de corps électro-positif vis-à-vis des corps halogènes, ou l'oxyde le rôle de base vis-à-vis des acides auxquels il serait combiné? On serait bien mieux autorisé à croire, comme je l'ai dit § VII, que l'oxyde de plomb joue le rôle d'acide vis-à-vis de la soude du sang, et que, soit à l'état de plombate de soude pur, soit à l'état de plombate de soude en combinaison avec les matériaux organiques du sang, ces composés ne seraient pas précipités dans ce liquide par les sulfates qui s'y trouvent ou qu'on y ferait passer.

Tout porte à croire que si l'acide sulfurique possède une action spéciale sur ces maladies, ce n'est certes pas parce qu'il précipite les sels de plomb à l'état de sulfate; il faudrait expliquer son action par d'autres motifs.

On comprend que l'acide sulfurique puisse agir comme moyen mécanique ou physique, pour empêcher l'absorption facile de certains composés de plomb déposés à la surface de la peau, en formant un sulfate moins absorbable que le sel qui s'y était déposé : on comprend encore que l'absorption du sulfate de plomb soit plus difficile que celle d'autres composés de plomb plus solubles par eux-mêmes, ou le devenant en contact avec la transpiration. Au moins est-il

Digitized by Google

vrai que l'emploi du sulfate de plomb pour le blanchiment des dentelles a rendu les maladies moins fréquentes s'il ne les a complétement empêchées; mais je sais qu'un habile industriel qui, de son côté, avait voulu remplacer le carbonate de plomb par le sulfate des fabriques d'indiennes, etc., espérant éviter ainsi les maladies saturnines, échoua complétement. Plusieurs cas graves se présentèrent dans ses ateliers, et avec des phénomènes tout aussi redoutables que dans les fabriques de céruse.

Si l'acide sulfurique ou les sulfates solubles sont des antidotes pour les empoisonnements produits par les composés de plomb, le sulfate de plomb lui-même doit être sans action sur l'économie. Or, mes expériences le montrent comme un poison, un peu lent, il est vrai, mais dont les effets sont certains; il amène la mort en peu de temps.

Le sulfate de plomb dont je me suis servi était parfaitement pur : j'ai cependant cru devoir réaliser dans sa préparation une des conditions qui se présenteraient chez les animaux soumis à la médication ou à la préservation par la limonade sulfurique. Il a été préparé en précipitant une dissolution étendue d'un sel de plomb par l'acide sulfurique en excès; lorsqu'il fut parfaitement lavé, on le fit dessécher à une basse température.

Un chien de taille moyenne prend en vingt et un jours 14 grammes de sulfate de plomb, administrés à la dose de 1 gramme par jour; comme les chiens refusent parfois toute nourriture, il est impossible de leur administrer régulièrement la dose de poison tous les jours.

Le onzième jour, il avait pris 7 grammes de poison et refusait toute nourriture : le train postérieur était affaibli; les quatres membres finissent par se paralyser. Le treizième jour, il était attaqué d'une maladie des gencives ayant des analogies avec le scorbut. L'amaigrissement de l'animal était effrayant le jour de la mort, qui eut lieu vingt-deux jours après la première administration du poison.

Digitized by Google

Une petite chienne prend 19 grammes de sulfate de plomb en vingt-huit jours : elle meurt le vingt-huitième jour. Les phénomènes sont exactement les mêmes que pour le chien précédent.

On avait cessé de lui donner du poison quatre jours avant la mort; l'amaigrissement fut encore très-considérable pendant les trois derniers jours de la vie. En effet, le vingt-sixième jour elle pesait $2^{kil},250$, le vingt-septième $2^{kil},132$, le vingt-huitième $2^{kil},047$.

Ces chiens meurent dans des accès épileptiformes, qui se présentent souvent quelques jours avant la mort.

On retrouve du plomb dans les organes de ces chiens (1).

§ XI. — *En administrant un grand excès de sulfate de plomb, les phénomènes d'intoxication par ce sel ne se produisent pas en raison de la quantité de poison administrée.*

Comme les matières fécales des deux chiens dont je viens de parler renferment une très-grande quantité de plomb, on doit supposer que l'absorption du sulfate ne se fait que sur une petite quantité de ce sel, et qu'avec un grand excès les phénomènes d'intoxication ne doivent pas se produire beaucoup plus rapidement. En effet, deux chiens soumis à l'action d'un grand excès de sulfate de plomb, car on en mettait à profusion dans tout ce qu'ils prenaient, ont résisté pendant un mois environ. Si même ils ont résisté quelques jours de plus, c'est que, à différentes reprises, ils ont refusé toute nourriture, et cela pendant plusieurs jours consécu-

(1) Beaucoup d'expérimentateurs semblent encore vouloir admettre la présence du cuivre et du plomb normal dans le sang de l'homme et dans celui des animaux. Sans rien affirmer ici pour les organes des animaux, je répète qu'il m'a été impossible de déceler ces métaux dans le sang, et malgré deux Notes nouvelles de l'habile chimiste avec lequel je suis en contradiction, je n'ai rien à changer aux conclusions de mon travail sur la présence du cuivre et du plomb dans le sang, recherches qui se liaient d'une manière intime au présent travail. (*Voir* les *Annales de Chimie et de Physique* de 1848.)

Digitized by Google

tifs ; ils savaient même reconnaître, jusqu'à un certain point, celle dans laquelle on cherchait à leur masquer l'introduction du poison.

Ils ont pris facilement une très-grande quantité de sulfate de plomb pendant les premiers jours, et les phénomènes d'intoxication n'ont paru se présenter ni plus vite ni avec plus d'intensité que chez les chiens précédents, pour lesquels la dose de sulfate n'était guère que le cinquième ou le sixième de la quantité administrée à ces derniers.

Le premier de ces chiens mourut à la suite de convulsions prolongées, le trente et unième jour de son traitement.

Le second paraissait pouvoir résister encore pendant quelques jours; on lui administra 6 grammes d'iodure de potassium : les phénomènes morbides s'aggravèrent singulièrement après cette administration ; il mourut le lendemain dans des convulsions.

§ XII. — *Le sulfate de plomb, obtenu par double décomposition, lavé et broyé, est aussi vénéneux que celui qu'on obtient en précipitant un sel soluble de plomb par l'acide sulfurique.*

J'ai cherché si le sulfate de plomb des fabriques d'indiennes, préparé par M. Leroy, habile pharmacien de Bruxelles, qui le substitue au carbonate dans le blanchiment des dentelles, était aussi vénéneux que celui qu'on prépare par l'acétate de plomb et un excès d'acide sulfurique.

Un chien soumis à un excès de ce sulfate mourut en vingt-deux jours. Il présenta tous les phénomènes ordinaires, à de très-légères différences près ; l'affection scorbutiforme fut un peu plus longue à apparaître ; et, pour la première fois parmi tant de cas d'empoisonnement par le plomb, que j'ai étudiés, les yeux s'affectèrent quelques jours avant la mort. Le jour de la mort, l'œil droit était ulcéré, l'œil gauche complétement opaque.

Digitized by Google

§ XIII. — *En administrant brusquement des doses un peu considérables d'iodure de potassium à un chien qui se trouve depuis quelque temps sous l'influence toxique du sulfate de plomb, on le tue. En administrant, au contraire, simultanément du sulfate de plomb et de l'iodure de potassium, le chien ne souffre pas; l'iodure de potassium peut donc être employé comme moyen préservatif.*

L'effet toxique du sulfate de plomb sur les chiens étant constaté, je fis comparativement sur deux chiennes, qui resistent mieux que les chiens, les expériences suivantes :

La première prit 12 grammes de sulfate de plomb en quinze jours : amaigrissement, scorbut, paralysie. Le seizième jour, convulsions; elle pouvait encore vivre pendant quelque temps. On lui administra 2 grammes d'iodure de potassium; le lendemain, 3 grammes; le surlendemain, 4 grammes : elle mourut ce jour-là.

Il résulte de cette expérience que 12 grammes de sulfate de plomb, administrés en quinze jours, suffisent pour tuer un chien assez rapidement, si l'on fait passer brusquement le plomb que l'économie renferme, dans une combinaison nouvelle.

La seconde chienne prend 21 grammes de sulfate de plomb en trente-trois jours; mais chaque fois qu'elle prend du plomb, on lui administre de l'iodure de potassium, de façon à ce qu'en trente-trois jours elle en en avait pris 33 grammes.

Cette chienne maigrit pendant l'expérience, mais peu : elle ne présente ni scorbut, ni paralysie, ni convulsions; elle reste gaie et vive pendant tout ce temps, et ne donne lieu à l'observation d'aucun phénomène morbide appréciable. On l'abandonne à elle-même pendant vingt jours; elle reprend de l'embonpoint et tous les signes d'une santé excellente.

Digitized by Google

Il fallait compléter l'expérience, en s'assurant que le plomb administré seul provoquerait sur elle des phénomènes d'intoxication. On la soumet donc à un nouveau traitement de sulfate de plomb : 12 grammes de ce sel, administrés sans iodure de potassium, amènent la mort le seizième jour.

La petite quantité du composé de plomb qui parcourt l'économie, disparaît donc sans troubles graves, si elle y rencontre une quantité assez considérable d'iodure de potassium, qui favorise son expulsion. Lorsque les composés de plomb s'accumulent dans les animaux, l'empoisonnement est, au contraire, inévitable.

Dans la première expérience, l'empoisonnement chronique se convertit en un empoisonnement aigu, parce que l'action est trop vive et se passe dans un temps trop court pour permettre l'excrétion du poison en temps utile.

§ XIV. — *Conditions exigées pour guérir une affection saturnine par l'iodure de potassium.*

Une petite chienne, âgée d'un an environ, est soumise au traitement du sulfate de plomb administré à la dose de 1 gramme par jour. En huit jours, elle a maigri beaucoup; l'affection scorbutique est bien caractérisée; le museau est puant; la paralysie des membres est nettement marquée. Elle ne pèse plus que $3^{kil},915$. Pendant quelques jours, on lui administre encore du sulfate de plomb, de façon à aggraver la maladie sans cependant tuer l'animal. Après huit ou dix jours, on interrompt l'administration du poison et on abandonne la chienne à elle-même, ce qui ne l'empêche pas de dépérir encore pendant une quinzaine de jours, malgré les soins assidus dont on l'entoure, en cherchant à exciter son appétit par du lait, de la viande; mais elle ne veut presque pas prendre d'aliments.

Le 9 octobre, elle présente un état tel, que la mort semble imminente.

Digitized by Google

La maigreur est extrême, le museau est infect au plus haut degré, la paralysie des quatre membres lui permet à peine de marcher, la colonne vertébrale courbée représente à peu près un tiers de cercle; l'animal est froid; dans cet état, il pèse $3^{kil},025$: outre la perte première dont on n'a pas tenu compte, l'animal a donc perdu en un mois environ le quart de son poids.

C'est dans cet état qu'on le soumet à la médication par l'iodure de potassium, en commençant par un demi-gramme par jour; on augmente la dose du sel à mesure que l'animal semble le supporter, de manière à lui donner, au bout de vingt-sept jours, 4 à 5 grammes d'iodure par jour. Il prend, pendant le traitement, 65 grammes d'iodure de potassium.

Dès les premiers jours, la maladie change, l'appétit revient, la maigreur, la paralysie disparaissent; le vingt-septième jour, on peut regarder l'animal comme étant parfaitement guéri; quelques jours après, il ne reste pas trace de son empoisonnement.

Rien de plus remarquable que la déperdition de poids et l'augmentation de poids se succédant en si peu de temps, et traduisant avec tant de fidélité la marche de l'empoisonnement et les effets salutaires du contre-poison.

Voici les pesées faites pendant sa guérison, le matin, à jeun :

	Poids de l'animal.
	k
Le 9 novembre.....	3,025
14 *id*.....	3,240
19 *id*.....	3,404
22 *id*.....	3,850
25 *id*.....	4,168
1er décembre.....	4,682
6 *id*.....	5,188

Du 6 au 13 décembre, ce dernier poids reste sensiblement le même.

Ainsi, voilà un animal qui, en une dizaine de jours,

Digitized by Google

maigrit considérablement sous l'influence du sel de plomb; pendant le mois suivant, il perd encore le quart de son poids, mais après vingt-sept jours de traitement par l'iodure de potassium le poids de l'animal a doublé ou à peu près.

Dans la pratique, les médecins traitent des peintres et d'autres ouvriers, qui se trouvent ordinairement depuis très-longtemps sous l'influence du poison. Ils ne verront pas toujours les accidents, et la paralysie surtout, disparaître avec autant de facilité, de rapidité et aussi complétement, que dans le cas que je viens de rapporter.

Mais M. Magendie a prouvé que la fibrine de formation nouvelle est plus facilement attaquable par les réactifs que la fibrine de formation ancienne; faudrait-il donc s'étonner si, chez les ouvriers depuis longtemps malades, des composés de plomb, fixés d'ancienne date dans l'économie, résistaient plus à l'action des dissolvants que des combinaisons récemment formées?

§ XV. — *Aggravation des symptômes morbides à la suite de l'administration de l'iodure de potassium aux chiens qui se trouvent sous l'influence des composés de plomb; innocuité des mêmes doses d'iodure de potassium sur des chiens sains.*

Lorsqu'on administre des composés de plomb à des animaux, et que, parvenus à un état de maladie assez avancé, on voit la maladie s'aggraver par l'emploi de l'iodure de potassium en excès, *cette aggravation des symptômes se confond, pour moi, avec la certitude de la guérison*, car elle démontre l'action du médicament.

Il fallait prouver que ces symptômes apparaissaient avec d'autres sels de plomb; j'eus recours, pour le prouver, à la céruse, qui donne la maladie aux peintres, bien que cette aggravation de la maladie eût été parfaitement observée chez le premier malade.

Un chien de taille moyenne prend 8 grammes de céruse

Digitized by Google

impure du commerce en onze jours; il offrit des phénomènes morbides analogues, mais apparaissant un peu plus rapidement qu'avec le sulfate de plomb; le cinquième jour, l'appétit était nul, il eut des vomissements: ce qui n'avait jamais été observé sur les chiens soumis au sulfate. Il était très-affecté le onzième jour, il ne voulut absolument rien prendre jusqu'au quinzième jour où il prit encore $0^{gr},50$ de poison. On lui administre, ce jour-là, 3 grammes d'iodure de potassium; peu de temps après l'administration, les phénomènes morbides s'aggravent d'une façon tout à fait extraordinaire.

Quelques heures après, le chien était triste, les yeux à moitié fermés; prostration extrême et tremblement de tout le système musculaire; il semble être dans un état d'ivresse, la vue est obscurcie, il porte la tête sur le côté comme un animal atteint de vertiges; il a des convulsions épileptiformes, chancelle et tombe, pour se relever, paraissant plus calme; mais ses convulsions recommencent quelque temps après pour disparaître de nouveau.

Le lendemain, on lui administre encore 6 grammes d'iodure de potassium, bien que les phénomènes soient les mêmes que la veille; l'appétit semble excité, il cherche la nourriture qu'on lui présente et mange. Le surlendemain, les phénomènes morbides laissaient si peu d'espoir de guérison après l'administration de 8 grammes d'iodure de potassium, que le quatrième jour, la dose ne fut portée qu'à 4 grammes, ce qui n'empêcha pas le chien de mourir le lendemain à 5 heures du matin.

Je ne saurais trop insister sur les phénomènes dangereux qui apparaissent lors de l'administration de l'iodure de potassium chez les individus empoisonnés par des métaux vénéneux, pour montrer la nécessité de n'employer cette médication qu'avec précaution dans les premiers jours d'un traitement quelconque chez l'homme.

Je choisis un chien de même taille et de même force à

Digitized by Google

peu près que le précédent, les mêmes quantités du même iodure de potassium lui furent administrées aux mêmes heures. Ces 21 grammes d'iodure de potassium, administrés en quatre jours à ce second chien qui pesait $5^{kil},500$, ne produisirent aucun effet nuisible; il n'eut qu'un léger vomissement le second jour.

Un autre chien, de même taille, prit, en vingt heures, 15 grammes d'iodure de potassium, il ne semblait nullement incommodé de cette dose.

§ XVI. — *Action de l'iodure de plomb sur l'économie.*

Comment l'iodure de plomb lui-même agit-il sur l'économie? $7^{gr},50$ de ce sel administrés par doses de 1 gramme à la fois, en dix-sept jours, ont fait mourir un chien. La plupart des phénomènes morbides ressemblent encore à ceux provoqués par le sulfate et le carbonate, sauf la rapidité de leur apparition. Cet animal eut des convulsions et des accès dès le sixième jour; il avait déjà pris alors 5 grammes de sel. L'iodure de plomb est donc un poison plus actif que le sulfate, et à peu près analogue dans ce rapport au carbonate; mais cette notion ne suffit pas.

Ce poison, administré à peu près comme dans le cas précédent, mais associé avec de l'iodure de potassium, est-il moins actif?

Peut-on encore aggraver les phénomènes d'empoisonnement lorsque, le poison et le contre-poison étant déjà administrés à doses toxiques, on verse dans l'économie un excès d'iodure de potassium?

Voici l'expérience qui répond à cette question. Je ferai remarquer toutefois que, pour arriver à une conclusion, il faudrait la varier et la répéter avec d'autres quantités de matières.

Une chienne, de même force que le précédent, prend en trente-trois jours, et ordinairement par doses de 1 gramme à la fois, 14 grammes d'iodure de plomb;

Digitized by Google

chaque fois qu'elle prend 1 gramme d'iodure de plomb, on lui administre 2 grammes d'iodure de potassium; elle avait pris 24 grammes de ce sel pendant ces trente-trois jours.

Cet animal maigrit beaucoup moins que le précédent; la paralysie, bien que parfaitement reconnaissable, était moins forte; il était très-affecté, au moins à en juger d'après sa tristesse.

Il mourut en quelques minutes, après qu'on lui eut administré 6 grammes d'iodure de potassium, qui avait été rendu légèrement acide.

§ XVII. — *Cure de malades doreurs ou étameurs au mercure.*

1°. Le premier malade mis au traitement fut un vieillard de Bicêtre, dont l'observation a été recueillie avec détail par M. Guillot. Ce vieillard avait été doreur, et il avait perdu l'usage de ses membres par suite de sa profession; la vue était perdue, et, de plus, il était tourmenté de douleurs violentes et continues. L'iodure de potassium fut administré chaque jour à la dose de 4 grammes; au bout de quinze jours de traitement, il quitte l'infirmerie seul, sans aucun aide, tandis qu'on l'avait apporté sur un brancard.

2°. J'ai vu un ouvrier doreur au mercure, âgé de 25 ans environ, traité pendant trois semaines par l'iodure de potassium. Après ce temps, il pouvait écrire facilement, tandis qu'il lui eût été impossible de le faire en commençant.

3°. Le seul individu sur lequel l'iodure de potassium n'a pas agi avec énergie, était un vieillard de 70 ans, ouvrier doreur; il ne fut traité que pendant quelques jours pour une forte salivation, le traitement fut abandonné.

4°. Barthélemy Pichon a été ouvrier doreur au mercure, sa mémoire est très-faible, la parole est fortement embarrassée et les tremblements sont si forts, qu'il ne peut

Digitized by Google

s'adonner qu'aux ouvrages grossiers de la dorure au trempé ou galvanique; il est employé dans les ateliers de M. Christofle.

Au commencement de 1844, il avait passé six semaines à l'Hôtel-Dieu, presque sans résultat.

Le 1er juin 1844, je lui remis 200 grammes d'iodure de potassium dissous, en lui recommandant de commencer par prendre une mesure de dissolution correspondant à 1 gramme de sel par jour, d'augmenter ensuite le nombre de mesures à prendre à sa volonté, en se guidant sur les douleurs qu'il éprouverait, et de diminuer lorsqu'elles seraient trop fortes.

Après quelques jours de traitement, il fut pris de maux de tête et d'estomac, il eut des boutons sur le corps; ces petits accidents ne l'empêchèrent pas de travailler constamment pendant les soixante-dix jours que dura son traitement et qu'il employa à consommer ses 200 grammes d'iodure de potassium.

Il suivait son régime ordinaire et ne changea rien à ses habitudes, pas même celle d'aller rendre visite aux barrières, si j'en juge par un des accidents de sa cure. On lui recommanda de boire de l'eau coupée par du vin, des infusions de réglisse, et d'exclure, autant que possible, les mets acides, vinaigre, oseille, etc. J'allais le surprendre de temps à autre pour m'assurer s'il prenait régulièrement son médicament; je recherchais l'iode dans l'urine rendue en ma présence; je l'ai toujours trouvé.

M. L'Été, le chef d'atelier de l'établissement, avait l'obligeance de surveiller particulièrement cet ouvrier.

Après son traitement, Pichon était complétement guéri, il écrivait sans trembler, parlait librement; de l'avis de M. L'Eté, cet ouvrier, qui, avant son traitement, ne pouvait plus exécuter que les travaux les plus grossiers de la dorure sur métaux, exécutait, après soixante-dix jours de traitement, les travaux les plus délicats.

Digitized by Google

Ses maux de tête avaient été très-intenses une seule fois, pendant son traitement; mais c'était à la suite d'une débauche après laquelle il n'avait pas pris de médicament pendant trois ou quatre jours. Pour récupérer le temps perdu, il prit d'un trait la dose qu'il aurait dû disperser sur plusieurs jours : à la suite de cette dose, ses maux de tête furent si atroces, qu'il croyait devenir fou.

5°. Un ouvrier étameur de glaces, employé dans une des manufactures de Bruxelles, s'est soumis au traitement par l'iodure de potassium : il avait été typographe avant d'être étameur. Il tremblait au point de laisser souvent tout échapper de ses mains; sa parole était embarrassée, mais très-peu; ses jambes le supportaient mal, il était sujet à faire de faux pas; la force physique lui manquait presque complétement : 20 grammes d'iodure de potassium pris en dix jours ne l'affectèrent guère.

Comme il appartenait à une Société de prévoyance d'ouvriers typographes, le médecin de cette société désira, avant de continuer l'iodure de potassium, le soumettre à un autre traitement; il pensait qu'un tremblement d'une autre nature pouvait compliquer le tremblement mercuriel. Un mois après, il me renvoya le malade exactement dans le même état qu'auparavant; il fut remis au traitement par l'iodure de potassium.

Bien que cet ouvrier eût quitté l'atelier d'étamage, les améliorations provoquées par la médication étaient lentes : il me disait cependant qu'il sentait ses forces revenir tous les jours, son tremblement s'effaçait peu à peu; mais ce ne fut qu'après avoir pris plus de 200 grammes d'iodure de potassium que l'amélioration fut très-marquée : il ne tremblait presque plus, sa marche était ferme, l'écriture bonne, mais ses forces n'étaient pas revenues complétement.

En voyant chez ce malade la guérison faire des progrès incontestables, mais lents, bien qu'il fût soustrait à l'influence du mercure, je lui fis administrer l'iodure de po-

Digitized by Google

tassium en frictions sous la forme de pommade iodée ; ce fut surtout à partir de ce moment que l'amélioration des forces devint sensible. Il ne fut parfaitement rétabli que vers la fin du mois d'août, après trois mois de traitement.

Je revis encore cet ouvrier au commencement du mois de novembre : il me dit que ses forces, que sa santé étaient les mêmes qu'avant qu'il eût commencé le métier d'étameur de glace, ou à bien peu de chose près. Au mois d'avril 1849 cet ouvrier était parfaitement bien ; rien ne lui rappelle son ancienne affection.

Cet ouvrier n'a résisté au métier d'étameur de glace que pendant vingt et un mois : entré à l'atelier d'étamage en mars 1846, le tremblement s'était déclaré en janvier 1848. En l'interrogeant en présence de plusieurs de ses compagnons, j'ai pu faire cette observation qui me paraît importante : Les ouvriers qui aiment le sel résistent plus longtemps à l'infection que ceux qui ne l'aiment pas.

6°. Un ouvrier étameur à la même manufacture est affecté d'un tremblement qui le gêne beaucoup dans son travail ; les membres sont d'une faiblesse excessive, les moindres efforts le fatiguent ; parfois les objets lui échappent des mains : la marche n'est pas assurée. Ses tremblements datent de longtemps déjà ; il a été assez malade pour être forcé de garder le lit, il y a environ un an ; et, bien que soulagé, il resta faible après le traitement qu'il suivit alors.

Du 21 mars 1848 au 7 mai, il prit 50 grammes d'iodure de potassium ; pendant tout ce temps il a continué à travailler à l'étamage comme auparavant, et, bien mieux, du 10 avril au 7 mai, le travail au contact du mercure avait presque doublé de durée ; cependant au 7 mai les tremblements sont presque nuls. Il prend ensuite, jusqu'à la date du 22 juin, environ 100 grammes d'iodure de potassium. Il interrompt souvent l'usage de ce sel pendant quelques jours, et le prend à sa guise, comme il l'entend, en se guidant d'après ses douleurs.

Digitized by Google

Le 3 septembre, il se porte toujours parfaitement bien, ne tremble plus ou presque plus, continue toujours son métier d'étameur sans prendre de médicaments; il n'a pas cessé de travailler pendant tout ce temps, et se trouvait donc toujours en contact avec le poison. Sa guérison s'opérait, tout en lui permettant de gagner sa vie et celle de sa famille, sans qu'il fût contraint à rien changer ni à son régime ni à ses habitudes.

Rien n'est plus curieux à examiner qu'un cahier dans lequel ce malade m'écrivait tous les jours quelques mots, les *fac-simile* de quelques lignes prises au hasard dans ce cahier en donnent une idée.

1°. Écriture du 21 mars avant le traitement.

Joseph Lieben
Etameur au man-
-ufacture des Glaces
rue de Gesicr N° 3

2°. Après trois ou quatre jours de traitement.

Commencer le 21 Mars
à prendre une mesure de
médécine cela ma donné le
lendemain un fond rhume
que l'eau mes Coulait du nez.

Digitized by Google

3°. Écriture du 5 avril.

J'ai eu un goût dans ma bouche tous long du jour comme ci je manger de cuivre.

4°. Du 7 avril, après avoir pris 17 grammes d'iodure de potassium en dix-sept jours.

Après avoir pris 34 mésures de la médecine sur 17 jours et Suffert un peu des douleurs dans mon corps, tous mon tremblement étois passé je me trouvé beaucoup mieux la mine changer et la force plus fort dans les Membres.

Joseph Lieber

5°. Écriture du 7 mai, après avoir pris 50 grammes d'iodure de potassium.

Depuis le 16 Avril jusqu'au 7 Mai travailler plus fort dans le Mercure qui m'a mi beaucoup en arriere à mon traitment.

Digitized by Google

6°. Écriture du 5 juin, après avoir pris 100 grammes d'iodure de potassium.

Pendant mon interruption je m'ai toujour bien porter mais les dernier jour ~~jai~~ je m'ai senti trembler un peu plus fort que l'habitude.

7°. Écriture du 15 août. Il ne prend plus d'iodure depuis le 22 juin, époque à laquelle il en avait pris 150 grammes en tout.

le génie de Rubens se décèle dans tout et la figure de Marie de Médicis au moment ou elle est devenue mère de Louis XIII passe avec raison pour un Chef-d'œuvre.

Digitized by Google

8°. Écriture du 12 avril 1849. Il n'a pas cessé de travailler à l'étamage depuis le mois de mars 1848.

Bruxelles les 12 Avril 1849
Depuis le mois Juillet 1848 jai été guéri et je n'ai plus rien aperçu du tremblement jusqu'à ces jours.

J Liebem

Au commencement du traitement, l'urine de ce malade m'a présenté deux fois un phénomène peu ordinaire; elle était limpide, d'un jaune clair, mais alcaline au point de faire effervescence avec les acides : ce phénomène ne s'est plus reproduit après une quinzaine de jours de traitement.

J'ai examiné huit fois 4 litres de l'urine de ce malade dans le but de rechercher si, sous l'influence de la médication par l'iodure de potassium, le mercure se retrouverait dans son urine : la première contenait du mercure en quantités parfaitement reconnaissables; la seconde en contenait encore, mais sensiblement moins.

En suivant le procédé employé dans les deux premières recherches, je n'en trouvai pas dans la troisième urine; la quatrième urine, examinée par un autre procédé, ne m'en donna plus qu'une trace à peine appréciable; mais en distillant dans un tube effilé l'une des lames d'or qui terminait la pile dont je faisais usage, j'obtins un petit sublimé jaune qui, le lendemain, était devenu rouge. En le chassant par la flamme d'une lampe à alcool, il se volatilise de nouveau avec une couleur jaune, pour devenir rouge en-

Digitized by Google

suite. C'est une des propriétés caractéristiques de l'iodure de mercure.

N'est-il pas remarquable de voir un homme soumis à une intoxication lente par du mercure métallique, rendre, sous l'influence de l'administration de l'iodure de potassium, de l'iodure de mercure par les urines?

Le malade interrompait parfois son traitement; j'examinai une cinquième fois de l'urine rendue pendant une interruption; je n'y pus découvrir le mercure, mais à cette époque on pouvait considérer le malade comme étant rétabli. J'examinai encore trois fois l'urine recueillie les jours où il prenait les plus fortes doses d'iodure de potassium : je ne pus en découvrir, soit qu'elle n'en contînt plus, soit que la quantité en fût réellement trop peu considérable pour être facilement décelée par les moyens que j'employais.

Quoi qu'il en soit, cet ouvrier, qui continuait à travailler au mercure, et qui depuis la fin de juin ne prenait plus de médicament, se portait parfaitement bien. Au commencement du mois de novembre, toutes les fonctions marchaient très-bien; ses forces, sa vigueur étaient revenues. Les organes de la génération, très-longtemps paisibles, avaient repris leur ancienne énergie après quelques semaines de traitement, et l'avaient conservée depuis.

Cette cure prouve de la manière la plus évidente que, lorsque le mercure n'est absorbé journellement que dans des proportions faibles, comme cela a lieu pour les étameurs qui le travaillent à froid, l'iodure de potassium jouit non-seulement de la propriété de guérir le malade, mais qu'il agit comme moyen préservatif énergique.

Digitized by Google

§ XVIII. — *Expériences qui tendent à prouver que l'iodure de potassium agit comme préservatif, ou comme pouvant retarder les phénomènes d'empoisonnement, lorsque l'économie est soumise à l'influence du mercure métallique.*

Avant de quitter ce sujet, je dois donner le résultat de quelques expériences qui prouvent que dans l'économie soumise à l'influence de composés mercuriels, bien plus dangereux que les composés de plomb, les faits doivent se passer de la même manière que pour des animaux soumis à l'influence des composés de plomb.

Deux chiens de même taille, de même force, sont soumis à un traitement mercuriel qui consiste à mettre, par jour, 5 grammes d'onguent mercuriel double dans leur nourriture. Le premier meurt en vingt-cinq jours; le second, auquel on donnait, en outre, 1 gramme d'iodure de potassium par jour, avait maigri, mais se portait encore assez bien le jour de la mort du premier. On lui administra encore 25 grammes d'onguent à l'intérieur et 15 grammes en frictions, en élevant en même temps la dose d'iodure à 2 grammes par jour. Il mourut dix-huit jours après le premier. Ces faits sembleraient indiquer qu'une portion du mercure absorbé ne réagit pas avec autant d'énergie sur l'économie, lorsqu'il rencontre de l'iodure de potassium dans l'économie.

N'oublions pas de remarquer qu'il devient plus difficile, dans ces expériences, de bien déterminer les doses à administrer d'après les forces des animaux; que l'iodure double de mercure et de potassium est un poison très-violent, si les doses ne sont pas petites et bien choisies. Ainsi, nous avons vu un chien résister parfaitement à l'action du sulfate de plomb associé à l'iodure de potassium, parce que l'absorption du sulfate de plomb ne se fait, chaque jour, que sur une petite quantité de matière, que l'action de l'iodure de

Digitized by Google

potassium élimine sans troubles graves. Si, dans l'expérience précédente, l'iodure de potassium administré à un chien qui prend du mercure métallique, semble agir comme préservatif, il ne faut pas oublier de s'enquérir quels composés de mercure on pourrait rencontrer dans un individu qu'on voudrait préserver de l'intoxication par l'iodure de potassium, et en quelle quantité l'économie les absorbe par jour.

Il me suffit, pour bien faire comprendre ce que j'avance, de montrer comment l'iodure de potassium, au lieu de soulager, devient au contraire dangereux à administrer.

§ XIX. — *Expérience faisant voir que l'iodure de potassium rend plus active la médication ou l'intoxication par certains sels de mercure, et peut occasionner des accidents graves.*

Depuis très-longtemps (1838-39 au moins), M. Dumas recommande, dans ses cours, d'éviter la présence du sel marin lorsque l'on administre du calomel et qu'on désire qu'il reste à l'état de calomel dans le tube digestif; il recommandait, au contraire, d'ajouter du sel ammoniac au sublimé corrosif pour le rendre plus stable ou moins décomposable au contact des liquides de l'économie.

Le travail de M. Miahle est assez connu pour que je me contente de le rappeler.

Vient-on à donner les mêmes doses de calomel à deux chiens, et qu'à l'un des deux on administre en même temps de l'iodure de potassium, c'est celui qui prend l'iodure de potassium qui sera tué le premier, si les doses des deux sels sont un peu considérables.

Dans une expérience comparative faite sur deux chiens choisis de même âge, de même force, autant que cela se pouvait, j'ai obtenu les résultats suivants.

Le premier a pris $0^{gr},500$ de calomel en tout, et 4 gram-

Digitized by Google

mes d'iodure de potassium, administrés de la manière suivante :

Premier jour. 0gr,200 de calomel, et 2 grammes d'iodure de potassium.

Deuxième jour. Rien.

Troisième jour. 0gr,300 de calomel et 2 grammes d'iodure de potassium.

Il est mort dans la nuit du cinquième au sixième jour.

Ces doses de calomel n'affectèrent guère le second chien; le jour de la mort du premier, il prit encore 0gr,100 de calomel, puis on l'abandonna pendant sept jours: 0gr,150 de calomel ne l'empêchèrent pas de continuer à vivre encore pendant cinq jours; il avait donc pris deux fois autant de calomel que le premier, et avait déjà vécu douze jours plus que lui, mais il était souffrant. On lui donna la dose de calomel prise par le premier en trois jours, 0gr,500, et le lendemain, on lui administra 2 grammes d'iodure de potassium : les symptômes s'aggravèrent; il mourut quarante-huit heures après, sans nouvelle administration soit de calomel, soit d'iodure de potassium.

§ XX. — *L'action énergique de l'iodure de potassium sur un chien traité par du sublimé peut être telle, que, même huit jours après avoir pris du sublimé, on peut le tuer en lui administrant une dose un peu considérable d'iodure de potassium.*

J'ai voulu m'assurer qu'en soumettant un chien à un traitement au sublimé, puis en interrompant la médication pendant quelques jours, il serait encore possible de reconnaître l'action énergique de l'iodure de potassium par l'aggravation des phénomènes d'empoisonnement.

On administre à un petit chien 0gr,350 de sublimé corrosif, de la manière suivante.

Digitized by Google

Premier jour.....	0gr,150	sublimé;
Deux jours.....	....	sans poison;
Quatrième jour....	0gr,050	sublimé;
Quatre jours.....	.....	sans poison;
Neuvième jour....	0gr,050	sublimé;
Un jour.	.....	sans poison;
Onzième jour.....	0gr,100	sublimé.
	0gr,350	sublimé en onze jours.

Après ce temps, le chien est abandonné à lui-même; il continuait à vivre, bien qu'étant très-souffrant : il aurait peut-être pu guérir.

Le dix-neuvième jour, c'est-à-dire huit jours après avoir pris sa dernière dose de sublimé, il ne résiste pas à l'administration de 4 grammes d'iodure de potassium, qui le tuent en vingt-quatre heures.

Nous avons déjà vu qu'on peut impunément administrer cette dose d'iodure de potassium à des chiens sains; on ne comprendrait pas son action si énergique dans ce cas, si on n'admettait que le sublimé s'est fixé dans l'économie, et que l'iodure de potassium, lui donnant une forme nouvelle, le rendant soluble, lui permettant ainsi d'être charrié dans toute l'économie, agit non comme poison par lui-même, mais par les composés de mercure qu'il rencontre dans l'économie sous une forme plus bénigne que celle que sa combinaison avec ces corps provoque.

Je n'ai pu pousser plus loin les expériences avec les composés de mercure; elles méritent cependant d'être mises en regard avec la guérison des malades trembleurs.

§ XXI. — *Observations sur le traitement des accidents consécutifs de la syphilis.*

La dernière expérience que je viens de rapporter trouve son analogue dans le traitement des accidents secondaires et tertiaires des maladies syphilitiques; l'administration de l'iodure de potassium provoque souvent des phénomènes de souffrance intense chez les individus qui ont été traités

Digitized by Google

par les mercuriaux. A quoi doit-on attribuer ces phénomènes?

D'après les opinions émises dans ce travail, on voit de suite que lorsque, pour ce genre d'accidents consécutifs, on administre l'iodure de potassium à des individus qui ont été traités par les composés de mercure, on fait, par un seul agent, deux médications distinctes. D'abord, on rend solubles et actifs les composés de mercure gardés par l'économie; ensuite, on leur donne une forme qui permet à l'économie de les éliminer; mais, par cela même, le malade subit un nouveau traitement mercuriel, par les composés de mercure qui se trouvaient dans le corps.

Si, dans les accidents secondaires des maladies syphilitiques, l'iodure de potassium agit par lui-même, fait que je ne conteste pas, il ne faut cependant pas faire abstraction des propriétés sur lesquelles je cherche à appeler l'attention, car elles doivent, sans aucun doute, jouer un rôle important dans ce cas : il doit y avoir une différence notable entre l'action de l'iodure de potassium sur un individu débarrassé de composés mercuriels, et sur celui qui a conservé dans ses tissus des composés de mercure.

Il résulte de l'ensemble de faits constatés dans ce Mémoire, soit qu'il s'agisse de la préservation de l'intoxication, soit qu'il s'agisse de ces phénomènes d'empoisonnement aggravés au point de tuer parfois, soit enfin qu'il y ait eu guérison des malades : *qu'avec la médication par l'iodure de potassium, la guérison ne s'obtient jamais qu'à la condition d'un empoisonnement préalable, empoisonnement que le médecin est complétement le maître de diriger, d'après la force de résistance des malades.*

Il suffit pour cela de commencer par administrer l'iodure de potassium à faible dose d'abord, comme M. le docteur Guillot et moi nous l'avions proposé depuis bientôt six ans.

Digitized by Google

Chez l'homme on fait bien de commencer par 1 gramme par jour, en augmentant de suite si le malade le supporte facilement.

Il me semble qu'on peut tirer une conséquence de quelque importance pour la médecine, des expériences que renferme ce Mémoire. En effet, cette aggravation constante des symptômes d'empoisonnement sous l'influence de l'administration de l'iodure de potassium en excès ; cette élimination du poison à l'état de combinaison avec un des éléments de l'iodure de potassium, autorisent à dire que : *Certains médicaments agissent par eux-mêmes d'abord, mais ils peuvent agir en même temps par les matériaux qu'ils rencontrent dans l'économie.*

Le médecin devrait donc s'enquérir de l'état antérieur du malade, plus peut-être qu'on n'a, en général, l'habitude de le faire, lorsqu'on désire administrer des médicaments qui pourraient avoir une action analogue à celle que l'iodure de potassium exerce sur un animal autrefois soumis à des influences saturnines ou mercurielles.

Qu'il me soit permis de justifier ce que j'avance par un exemple. Si un médecin français était appelé à donner des soins à une personne anglaise habituée à prendre du calomel comme purgatif, ne devrait-il pas être prudent dans l'administration de l'iodure de potassium, si ce remède était indiqué, et surtout si le malade avait pris du calomel quelques jours auparavant? Dans tous les cas, ne devrait-il pas s'en enquérir, et proportionner la dose d'iodure à administrer aux circonstances antérieures?

MM. La Bouverie et Mormont, élèves distingués de l'École de Médecine vétérinaire et d'Agriculture de l'État à Bruxelles, m'ont prêté dans une partie de ces recherches leur concours actif et éclairé ; je me fais un véritable plaisir de les en remercier publiquement.

Digitized by Google

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — AVRIL 1849.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim.	ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	747,97	+ 9,0		748,15	+12,7		747,85	+13,2		748.01	+ 8,4		+14,0	+ 7,5	Couvert.....	S.
2	746,66	+10,6		745,03	+14,2		744,30	+13,9		745,35	+ 6,7		+15,1	+ 4,6	Très-nuageux....	S.
3	747,63	+ 5,7		748,01	+ 6,9		748,13	+ 8,3		750,77	+ 5,2		+ 8,8	+ 3,4	Pluie.....	S. O.
4	751,39	+ 8,2		750,01	+11,7		748,09	+12,5		748,30	+10,4		+12,7	+ 0,8	Quelques nuages.....	S.
5	744,05	+ 8,5		744,30	+13,0		744,84	+14,1		745,80	+ 9,9		+14,2	+ 8,5	Couvert.....	S. O.
6	747,15	+12,8		746,73	+15,6		746,38	+15,8		746,36	+ 9,1		+16,8	+ 7,5	Nuageux..... .	S. E.
7	743,70	+ 9,0		743,35	+12,3		742,77	+11,7		742,09	+ 8,9		+ 13,2	+ 5,5	Couvert.....	S. E.
8	743,30	+10,7		742,76	+13,4		742,50	+13,6		743,59	+ 7,2		+14,6	+ 7,3	Couvert..	S.
9	743,33	+11,7		742,60	+14,3		741,74	+14,1		742,01	+10,0		+15,0	+ 6,2	Nuageux.....	S. E.
10	742,10	+ 7,4		742,11	+ 9,6		741,85	+11,3		743,11	+ 8,2		+11,4	+ 6,4	Pluie...	N. O.
11	746,04	+ 7,3		746,70	+ 8,9		746,90	+10,8		750.11	+ 7,1		+11,4	+ 7,2	Couvert.....	N. N. O. fort.
12	752,91	+ 7,4		752,31	+ 9,2		751,22	+11,2		749,79	+ 7,4		+12,1	+ 2,7	Éclaircies.....	N. N. O.
13	744,45	+10,6		742,62	+12,4		740,74	+12,6		740,00	+ 7.0		+13,2	+ 5,0	Couvert.....	S. S. O.
14	742,68	+ 8,2		742,63	+10,4		742,20	+11.4		743,90	+ 5,8		+12,2	+ 2,7	Couvert.....	S.
15	745,43	+ 9,3		745,42	+11,4		743,02	+11,7		746,47	+ 6,4		+11.9	+ 3,4	Éclaircies.....	S. S. E.
16	749,35	+ 7,0		749,27	+10,3		749,72	+10,3		750,89	+ 8,6		+12,8	+ 2.7	Très-nuageux..	N.
17	750,21	+ 9,0		749,83	+ 5,0		749,86	+ 1.7		750.93	+ 1,8		+10,2	+ 3,4	Pluie.....	O.
18	752,60	+ 2,5		753,57	+ 3,3		754,63	+ 4,9		753,47	+ 2.2		+ 5.3	— 0,4	Éclaircies.....	O. N. O.
19	743,91	+ 7,8		741,45	+ 8,7		739,69	+ 7,2		739,40	+ 1,7		+ 9.1	+ 1,6	Couvert.....	S. O fort.
20	740,07	+ 3,4		741,12	+ 2,3		742,95	+ 2.0		748,20	+ 3,1		+ 3,4	+ 1,8	Neige et pluie.....	N. O.
21	753,64	+ 6,0		754,05	+ 7,9		754,49	+ 8.1		756,17	+ 6.1		+ 8,4	+ 1,1	Nuageux.....	N. O.
22	757,02	+ 9,6		756,83	+10,0		753,82	+10,9		753,63	+ 6.9		+11,1	+ 1,5	Couvert.....	S. O.
23	749,41	+10,0		747,86	+11,1		746,46	+ 9,9		746.17	+ 8,8		+11,2	+ 6,5	Pluie.....	S. O.
24	749,65	+ 9,8		749,85	+10,9		750,68	+10.4		752,90	+ 7,7		+11.5	+ 7,1	Couvert.....	O.
25	753,22	+12,1		753,14	+12,9		752,61	+13,0		752,54	+10,6		+13,8	+ 2,7	Couvert.....	S. S. O.
26	752,35	+12,4		752,55	+13,8		751,65	+15,8		753.27	+11,4		+16,2	+ 9,8	Couvert.....	S.
27	754,08	+12,9		753,65	+15,2		752,20	+16.3		751,54	+12,0		+17,1	+ 7.6	Nuageux....	S.
28	752,57	+11,8		753,55	+13,0		754,68	+12,8		758.10	+ 8,2		+14,5	+ 7,9	Nuageux.....	S.
29	762,51	+11,0		762,67	+14,0		762,80	+15,2		763,78	+12,4		+16,1	+ 8,1	Nuageux	S.
30	763,52	+12,5		762,00	+16,0		760,91	+16,2		759.40	+13,0		+17,0	+ 8,8	Nuageux.....	N. E.
1	745.73	+ 9,4		745,31	+12,4		744,79	+12,9		745,36	+ 8.4		+13,6	+ 5,8	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	746,76	+ 7,3		746,48	+ 8.2		746,29	+ 8,4		747,32	+ 5,1		+10,2	+ 3,0	... Moy. du 11 au 20	Cour. 6,234
3	754,80	+10,8		754,62	+12,5		754,23	+12,9		754,75	+ 9.7		+13,7	+ 6.1	... Moy. du 21 au 30	Terr. 5,553
	749,09	+ 9,1		748,80	+11,0		748,44	+11,4		749,14	+ 7.7		+12,5	+ 5,0	... Moyenne du mois.....	+ 8°,7

Digitized by Google

NOTE

Sur les températures d'ébullition de l'acide carbonique et du protoxyde d'azote sous la pression ordinaire de l'atmosphère, et sur les coefficients de dilatation, dans les basses températures, de l'air atmosphérique sous différentes pressions et de l'hydrogène;

PAR M. V. REGNAULT.

Température d'ébullition de l'acide carbonique.

J'ai déterminé, à deux reprises, la température que marque un thermomètre à air, lorsque son réservoir est enveloppé d'acide carbonique solide qui s'évapore librement à l'air.

La première expérience a été faite dans le laboratoire de M. Dumas; elle a donné la température $-77^{\circ},92$, la pression barométrique étant de $767^{mm},3$.

J'ai fait, plus tard, plusieurs autres déterminations avec l'acide carbonique liquéfié que j'avais fait préparer par M. Deleuil, pour mes expériences sur la chaleur spécifique du potassium. Le thermomètre à air était disposé de manière qu'on pût y introduire de l'air atmosphérique ou d'autres gaz sous diverses pressions; il avait une disposition semblable à celle des thermomètres à gaz que j'ai décrits dans mon Mémoire sur la mesure des températures (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, tome XXI), mais il était beaucoup plus petit.

Je donnerai ici les éléments de ces déterminations, et, pour l'explication des signes, je renverrai au Mémoire cité.

Dans la glace fondante.

		I.
H_0	=	775,13
$\left(\frac{v}{V}\right)_0$	=	0,01549
h_0	=	+ 375,34
$(H_0 + h_0)$	=	1150,47

Digitized by Google

		Dans l'acide carbonique solide. I.	II.	Dans la pâte d'acide carbonique et d'éther. III.
H_0	=	774,80	774,62	774,46
h_0	=	+ 52,71	51,52	51,34
$(H_0 + h_0)$	=	827,51	826,14	825,80
$\left(\frac{v}{V}\right)_0$	=	0,01614	0,01663	0,01546
T	=	− 77°,75	− 78°,16	− 78°,26

On a admis que la dilatation de l'air atmosphérique entre 0 et — 80 degrés était la même qu'entre 0 et + 100 degrés, c'est-à-dire = 0,003665.

Dans la première expérience, on n'a fait les observations qu'un quart d'heure après le moment où le réservoir a été complétement enveloppé d'acide carbonique solide; on a voulu reconnaître jusqu'à quel point la température restait stationnaire. Mais on a dû noter ainsi une température un peu trop élevée. Cela tient à ce qu'il se forme bientôt autour du réservoir une petite enveloppe gazeuse qui empêche le contact des parois avec l'acide carbonique solide; celles-ci s'échauffent alors par la chaleur que leur amène la tige du thermomètre par conductibilité. Pour la deuxième détermination, on a tassé de nouveau l'acide carbonique; on en a ajouté une nouvelle quantité, et on a observé la température minimum. Celle-ci doit être considérée comme la véritable. On voit qu'elle est un peu plus élevée que la température — 79 degrés qui avait été obtenue, il y a plusieurs années, par M. Pouillet.

Enfin, la troisième détermination a été faite dans la pâte d'acide carbonique et d'éther. Elle a donné sensiblement le même nombre que l'expérience n° II. Les plus grands effets frigorifiques de la pâte d'acide carbonique et d'éther ne doivent donc pas être attribués à un plus grand abaissement de la température, mais seulement à une meilleure conductibilité.

Digitized by Google

Détermination de la température d'ébullition du protoxyde d'azote.

M. Dumas a eu la complaisance de me faire préparer une grande quantité de protoxyde d'azote liquide avec l'appareil de M. Natterer, perfectionné par M. Bianchi, et appartenant à la Sorbonne. J'ai pu faire trois déterminations successives, en recueillant, chaque fois, dans un tube plus de 30 centimètres cubes de liquide. Je me suis proposé, dans ces expériences, non-seulement de déterminer la température d'ébullition du protoxyde d'azote sous la pression ordinaire de l'atmosphère, mais encore de comparer, à ces basses températures, la dilatabilité de l'air atmosphérique, sous diverses pressions, et celle du gaz hydrogène. Les expériences ont pu être faites avec une grande précision, parce que la température d'ébullition du protoxyde d'azote est *absolument constante*; et on a pu, pour chacune des déterminations, mesurer, plusieurs fois, les différences de niveau des colonnes mercurielles. Le protoxyde d'azote, à cause de cette température constante qu'il présente lorsqu'il s'évapore librement à l'air, rendra de grands services aux physiciens; il leur présente un nouveau point fixe placé très-bas dans l'échelle thermométrique. Ce point varie, cependant, avec la pression barométrique sous laquelle l'évaporation a lieu, et il sera important de déterminer ces variations avec précision. J'espère y parvenir avec le concours bienveillant de M. Dumas. Je donne ici les résultats que j'ai obtenus :

Le thermomètre à air est rempli d'air sous la pression de l'atmosphère environ.

Dans la glace fondante.

$$H_0 = 759,05$$
$$h_0 = + 83,61$$
$$(H_0 + h_0) = 842,66$$
$$\left(\frac{v}{V}\right)_0 = 0,01592$$

Digitized by Google

Dans le protoxyde liquide.

$$H_0 = 758,29$$
$$h_0 = -182,98$$
$$(H_0 - h_0) = 575,31$$
$$\left(\frac{v}{V}\right)_0 = 0,01635$$

En admettant $\alpha = 0,003665$, on trouve $T = -87^\circ,904$.

Le thermomètre est rempli d'air sous forte pression.

	Dans la glace fondante.	Dans le protoxyde d'azote liquide.
H_0 =	757,38	758,01
h_0 =	+ 1256,68	614,06
$(H_0 + h_0)$ =	2014,06	1372,07
$\left(\frac{v}{V}\right)_0$ =	0,01525	0,01638

Si l'on admettait $\alpha = 0,003665$, on obtiendrait pour la température $-88^\circ,15$. Mais le coefficient de dilatation de l'air condensé est plus considérable que celui de l'air sous la pression de l'atmosphère; il faut faire le calcul inverse, c'est-à-dire prendre $T = -87^\circ,904$ comme le donne la première expérience, et déduire α' de celle-ci; on trouve ainsi

$$\alpha' = 0,0036754.$$

Le thermomètre renferme du gaz hydrogène.

Dans la glace fondante.

$$H_0 = 755,84$$
$$h_0 = +132,04$$
$$H_0 + h_0 = 887,38$$
$$\left(\frac{v}{V}\right)_0 = 0,01538$$

Dans le protoxyde d'azote liquide.

$$H_0 = 756,20$$
$$h_0 = -148,44$$
$$H_0 - h_0 = 607,76$$
$$\left(\frac{v}{V}\right)_0 = 0,01496$$

Digitized by Google

Si l'on admettait $\alpha'' = 0,003665$, on trouverait

$$T = -87^{\circ},47;$$

mais le coefficient de dilatation de l'hydrogène, à ces basses températures, est certainement plus faible que celui de l'air. Il faut donc supposer $T = -87^{\circ},904$, et déduire de mon expérience la valeur de α''; on trouve ainsi $\alpha'' = 0,0036467$.

Les coefficients de dilatation du gaz hydrogène et de l'air à différents états de densité présentent les rapports de valeurs qu'on pouvait prévoir, d'après les expériences que j'ai faites sur ces gaz entre 0 et 100 degrés.

NOTE SUR LA CHALEUR SPÉCIFIQUE DU POTASSIUM;

PAR M. V. REGNAULT.

Dulong et Petit ont découvert qu'il existait entre les chaleurs spécifiques des corps simples et leurs équivalents chimiques cette loi remarquable : *Les chaleurs spécifiques des corps simples sont en raison inverse de leurs poids atomiques.* Dans le petit nombre de résultats numériques que ces illustres physiciens donnèrent à l'appui de leur loi, il s'en trouvait plusieurs qui satisfaisaient à cette relation avec les poids atomiques qu'ils avaient admis, mais ces poids atomiques étaient complétement inexacts, ainsi qu'on le reconnut par la suite. Les anomalies manifestes qui existaient dans la loi de Dulong et Petit ont détourné pendant longtemps les chimistes de s'en servir pour fixer les équivalents des corps qu'ils ne parvenaient pas à établir, d'une manière certaine, par des considérations purement chimiques. J'ai fait voir, dans mon Mémoire sur la chaleur spécifique des corps simples (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXXIII), que les anomalies constatées dans la loi de Dulong et Petit tenaient à des valeurs très-inexactes trouvées par ces physiciens pour plusieurs de leurs chaleurs

Digitized by Google

spécifiques; mais j'ai reconnu, en même temps, que cette loi n'avait pas le degré de rigueur qu'ils lui avaient supposée, et qu'elle n'était qu'approchée. Cela tient à ce que la capacité calorifique des corps, telle que nous la déterminons par nos expériences, renferme plusieurs autres éléments que l'on n'est pas encore parvenu à en séparer; notamment: la chaleur latente de dilatation, et une portion de la chaleur latente de fusion que les corps absorbent successivement à mesure qu'ils se ramollissent, souvent longtemps avant la température que l'on regarde comme leur point de fusion. Les changements que l'on a apportés, depuis quelque temps, aux valeurs numériques des équivalents des corps simples, ont diminué, en général, les écarts que j'avais signalés dans mon premier Mémoire.

Néanmoins, dans le grand nombre de corps simples dont j'ai pu déterminer les chaleurs spécifiques, il s'en trouve trois qui ne rentrent dans la loi que si l'on change les équivalents généralement adoptés par les chimistes; ce sont: l'urane; l'argent et le carbone.

L'urane présentait une anomalie inexplicable qui m'avait déterminé à engager les chimistes à faire de nouvelles recherches sur ce corps. Les belles expériences de M. Peligot montraient, peu de temps après, que la substance regardée jusqu'alors comme l'urane métallique était un oxyde, et cet habile chimiste parvint à en isoler le véritable métal.

Quant à l'argent, la loi des chaleurs spécifiques donnait à ce métal un équivalent moitié de celui qui était généralement adopté par les chimistes. La formule de l'oxyde d'argent ne devait donc pas être écrite AgO, mais Ag^2O; elle devenait semblable à celle de l'oxydule de cuivre Cu^2O, et de l'oxydule de mercure Hg^2O. J'indiquais les raisons qui devaient porter les chimistes à adopter ce nouvel équivalent de l'argent; notamment: l'isomorphisme incontestable du sulfure d'argent avec le sulfure de cuivre Cu^2S, qu'il remplace, en toutes proportions, dans certains minéraux

Digitized by Google

cristallisés ; l'analogie du chlorure d'argent avec le chlorure de cuivre Cu^2Cl ; et cette circonstance, qu'on n'avait jamais rencontré un sel d'argent isomorphe avec un sel correspondant formé par un oxyde de la formule RO. Ces raisons me paraissent tellement convaincantes, que je ne doute pas que les chimistes n'adoptent bientôt l'équivalent de l'argent, tel qu'on le déduit de la chaleur spécifique de ce métal.

Le carbone isolé existe sous plusieurs états, et présente alors des propriétés physiques distinctes. J'ai fait voir qu'à ces divers états correspondent des chaleurs spécifiques très-différentes (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome I, page 204). Il faut décider quel est l'état du carbone sous lequel ce corps entre dans ses combinaisons chimiques, et c'est évidemment celui dont la chaleur spécifique se rapporte à l'équivalent. Il est naturel de penser que c'est la modification dans laquelle le carbone est le plus désagrégé. Or la capacité calorifique que j'ai trouvée au charbon provenant de la décomposition des matières organiques par la chaleur, correspond à l'équivalent 150, c'est-à-dire à un nombre double du nombre 75 admis par la plupart des chimistes. J'ai énoncé les raisons qui donnaient une grande probabilité à l'exactitude de ce nouvel équivalent du carbone. Parmi ces raisons, il en est une qui me paraît décisive. Nous connaissons aujourd'hui un nombre extrêmement considérable de substances, extraites du règne organique, dont la composition est fixée avec certitude ; leurs formules présentent *toutes* cette particularité remarquable, *que le nombre des équivalents de carbone est pair*. Or ce fait est tout naturel si l'équivalent admis par les chimistes est la moitié de l'équivalent véritable. Deux combinaisons du carbone font seules exception ; ce sont celles qui ont servi à fixer l'ancien équivalent de ce corps, savoir : l'oxyde de carbone et l'acide carbonique. Mais nous n'avons aucune raison pour écrire la formule de l'oxyde de carbone CO, plutôt que C^2O^2. Quant à l'acide carbonique, les chimistes écrivent sa formule CO^2,

Digitized by Google

parce qu'ils regardent comme carbonates neutres ceux qui se présentent le plus communément, tels que les carbonates de chaux, de baryte, etc., etc.; et comme bicarbonates, les carbonates alcalins qui renferment une quantité double d'acide carbonique. L'anomalie présentée par l'acide carbonique disparaît, si l'on regarde, au contraire, ces derniers sels comme les carbonates neutres, ainsi que plusieurs chimistes ont persisté encore à le faire de nos jours. Les carbonates renfermant une moindre proportion d'acide carbonique deviennent ainsi des carbonates basiques ou sous-carbonates.

Il existe entre les chaleurs spécifiques des corps composés, une loi analogue à celle que nous venons de rappeler pour les corps simples, et qui se vérifie entre les mêmes limites (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome I, page 199). Cette loi est la suivante : *Les chaleurs spécifiques des corps composés présentant les mêmes formules chimiques, sont entre elles en raison inverse de leurs équivalents.* Mes expériences montrent cependant que, pour que cette loi soit générale, il faut modifier quelques-uns des équivalents admis par les chimistes.

Les composés de l'argent, dont les formules sont semblables, lorsqu'on écrit la formule de l'oxyde d'argent AgO, à celles des composés correspondants que donnent les oxydes RO, font constamment exception à la loi. Mais si l'on écrit l'oxyde d'argent Ag^2O, on trouve que les sels d'oxyde d'argent, comparés aux sels formés par les oxydules Cu^2O, Hg^2O qui ont alors des formules analogues, satisfont à la loi des chaleurs spécifiques, et qu'il en est de même des composés binaires. Les chaleurs spécifiques des composés d'argent, de même que celle de l'argent métallique, conduisent donc à la même conclusion, savoir : *qu'il faut adopter pour l'argent un équivalent moitié de celui qui est admis par les chimistes.*

Mes expériences ont mis en évidence un autre fait qui

Digitized by Google

mérite de fixer l'attention. On admet généralement, pour la potasse et la soude, les formules KO et Na O. Ces bases présentent ainsi des formules semblables à celles de la baryte, de la chaux, de la magnésie, des protoxydes de fer, de plomb, etc. Si l'on adopte ces formules pour les oxydes alcalins, les chaleurs spécifiques de leurs sels, et celles des composés binaires des métaux alcalins, font exception à la loi des chaleurs spécifiques. Mais, si l'on écrit les formules des oxydes alcalins K^2O, Na^2O, l'anomalie disparaît. Ces bases deviennent alors isomorphes avec l'oxydule de cuivre Cu^2O, avec l'oxydule de mercure Hg^2O et avec l'oxyde d'argent, supposé que l'on écrive la formule de ce dernier corps Ag^2O. J'ai développé, dans mon Mémoire sur la chaleur spécifique des corps composés, les raisons qui doivent engager les chimistes à adopter ce changement. Les principales sont les suivantes : on ne connaît aucun sel alcalin qui soit isomorphe avec un sel correspondant formé par un oxyde RO, et jamais les oxydes alcalins ne remplacent, en proportions indéterminées, un oxyde de la formule RO. Il est vrai que les minéralogistes admettent souvent ces remplacements qui facilitent l'établissement de leurs formules ; mais c'est une hypothèse gratuite qui a déjà été abandonnée pour plusieurs minéraux, lorsqu'on a connu leur composition d'une manière plus précise. Enfin, d'après M. Mitscherlich, le sulfate d'argent présente la même forme cristalline que le sulfate de soude anhydre.

Pour compléter cette fixation des équivalents des métaux alcalins, il était très-désirable que l'on parvînt à déterminer la chaleur spécifique du potassium isolé. J'ai cherché à le faire à plusieurs reprises, mais j'ai rencontré de grands obstacles dans cette détermination. Il est difficile d'obtenir le potassium à l'état de pureté, de le manier au contact de l'air sans qu'il s'altère. En outre, on ne peut déterminer sa chaleur spécifique au-dessus de o degré, parce que le métal se ramollit alors, et renferme une proportion notable de sa

Digitized by Google

chaleur latente de fusion. J'ai réussi à déterminer la chaleur spécifique du potassium, d'une manière très-approchée, en refroidissant ce métal dans de l'acide carbonique solide, et cherchant l'abaissement de température qu'il produit sur une certaine quantité d'huile de naphte renfermée dans un petit calorimètre. En faisant une expérience toute semblable sur un poids connu de plomb, je pouvais déterminer le rapport entre les chaleurs spécifiques du potassium et du plomb, considérés dans les mêmes circonstances de température.

Trois expériences ont ainsi donné pour ce rapport les valeurs suivantes :

$$5,83, \quad 5,77, \quad 5,40.$$

Les deux premières valeurs sont trop grandes, parce que je n'ai pas pu éviter, dans mes deux premières expériences, que le lingot de potassium n'entraînât une petite quantité d'acide carbonique solide adhérent à ses parois, ce qui a déterminé un abaissement un peu trop grand de la température.

Or, le rapport inverse des poids atomiques adoptés par les chimistes est

$$\frac{1294,5}{490,0} = 2,64,$$

c'est-à-dire, à très-peu de chose près, la moitié du rapport des chaleurs spécifiques trouvées dans mes expériences.

Si l'on adopte, au contraire, l'équivalent du potassium que je propose, ce rapport devient

$$\frac{1294,5}{245,0} = 5,29,$$

qui diffère très-peu du rapport des chaleurs spécifiques donné par la troisième expérience, laquelle présente le plus de garantie d'exactitude.

La chaleur spécifique du potassium conduit donc à la

Digitized by Google

conclusion à laquelle nous avions déjà été amené par les chaleurs spécifiques des composés de ce métal, savoir : *que l'équivalent du potassium doit être dédoublé, et que les formules des oxydes alcalins doivent être écrites* R^2O.

J'ai cherché à démontrer, par quelques expériences directes, que la méthode que j'ai suivie pour la détermination de la chaleur spécifique du potassium ne peut présenter que de très-faibles incertitudes. A cet effet, je l'ai appliquée à la recherche de la chaleur spécifique de deux corps dont la conductibilité calorifique est beaucoup plus faible que celle du potassium; ce sont le phosphore et la glace. L'expérience a été faite comme pour le potassium; j'ai remplacé seulement l'huile de naphte du calorimètre par de l'eau. En admettant pour la chaleur spécifique du plomb, entre — 78 et 0 degré, le même nombre 0,0314 que j'ai trouvé à ce métal entre 0 et 100 degrés (supposition qui ne s'éloigne probablement que très-peu de la réalité), j'ai trouvé pour la chaleur spécifique du phosphore :

Entre — 78° et + 10°.....	0,1740
Or, M. Person a trouvé entre — 21° et + 7°...	0,1788
J'ai trouvé, moi-même, entre + 10° et + 30°, c'est-à-dire dans des circonstances où le phosphore s'est notablement ramolli.....	0,1887

On voit que la chaleur spécifique que j'ai trouvée pour le phosphore à ces basses températures, est celle que l'on aurait supposée à priori, en admettant que la capacité calorifique de ce corps diminue avec la température.

La chaleur spécifique de la glace entre — 78° et 0° a été trouvée, dans mon expérience, de.....	0,474

Les expériences concordantes de M. Person et de M. Desains ont donné 0,504 entre — 20 et 0 degré, c'est-à-dire un nombre un peu plus fort que celui que j'ai trouvé. Cela doit être, puisque la chaleur spécifique déterminée dans mon expérience se rapporte à des températures beaucoup plus basses.

Digitized by Google

NOTE

Sur la chaleur spécifique et la chaleur latente de fusion du brome, et sur la chaleur spécifique du mercure solide;

PAR M. V. REGNAULT.

M. Andrews a déterminé dernièrement la chaleur spécifique du brome liquide entre 10 et 50 degrés (*Annales de Poggendorff*, t. LXXV, p. 335), et il a trouvé qu'elle était d'environ 0,107. Le produit de ce nombre par le poids atomique 489,1 admis par les chimistes, est 52,3; c'est-à-dire beaucoup plus fort que la plus grande valeur 42 que j'ai trouvée pour ce produit sur tous les autres corps simples qui ont servi à mes expériences. Comme, à la température de 50 degrés, le brome est très-rapproché de son point d'ébullition sous la pression ordinaire de l'atmosphère, et qu'entre 10 et 50 degrés ce liquide éprouve une dilatation considérable, le résultat obtenu par M. Andrews ne doit pas surprendre; il est clair que, pour comparer la chaleur spécifique du brome à celle des autres corps simples, il faut la déterminer sur le brome solide.

Parmi les corps simples sur lesquels j'ai opéré dans mes premières recherches, il y en a cependant un, le mercure, dont la capacité calorifique, déterminée sur le métal liquide, s'accorde avec la loi, car le produit de cette capacité calorifique par le poids atomique est 42,1. Ce fait rendait très-probable que la chaleur spécifique du mercure solide était peu différente de celle du mercure liquide; il m'a paru nécessaire de m'en assurer par des expériences directes.

La chaleur spécifique du phosphore liquide ne diffère pas beaucoup de celle du phosphore solide; on a trouvé, en effet, pour la capacité calorifique de ce corps:

Digitized by Google

Phosphore solide.

Dans mes expériences entre — 77°,75 et + 10.....	0,1740
Dans les expériences de M. Person entre — 21° et + 7° (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXI, p. 318).	0,1788
Dans mes anciennes expériences entre + 10° et + 30°.	0,1887

Phosphore liquide.

Dans les expér. de M. E. Desains, entre + 45° et + 50° (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXII, p. 439)	0,2006
Dans les expér. de M. Person entre + 44°,2 et + 51° (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXI, p. 321).	0,2045

On voit que la capacité calorifique du phosphore augmente continuellement avec la température, et qu'il n'y a pas de saut brusque dans cet accroissement au moment de la fusion du corps; ou du moins, s'il y a une discontinuité pour la température de la fusion dans la courbe qui représente la capacité calorifique du phosphore, le rejet de la courbe est peu considérable.

Les expériences dont je vais donner les résultats ont été faites avec un petit calorimètre formé d'un cylindre très-mince en verre, dans lequel on plaçait toujours le même volume d'eau. On a fait, sur ce calorimètre disposé dans les mêmes conditions que pour les expériences véritables, plusieurs séries d'observations de refroidissement, l'eau qu'il contenait présentant des différences de température variables par rapport à la température ambiante : on a reconnu ainsi que la courbe du refroidissement différait, en général, assez peu de la ligne droite pour que l'on pût y substituer cette dernière ligne, quand deux points assez éloignés en avaient été déterminés par des expériences directes.

Lorsque le corps dont on déterminait la capacité calorifique échauffait l'eau du calorimètre, on donnait à cette eau une température inférieure à la température ambiante, de telle sorte que la température finale de l'eau fût peu

Digitized by Google

supérieure à celle du milieu ambiant. Lorsque ce corps produisait, au contraire, un abaissement de température du calorimètre, on y mettait de l'eau à une température supérieure à la température ambiante, pour qu'à la fin de l'expérience la température de cette eau fût un peu inférieure à la température ambiante. Dans les deux cas, on suivait, pendant trois minutes, l'échauffement ou le refroidissement de l'eau avant l'immersion du corps; ce qui donnait un premier point de la ligne droite des refroidissements, à l'aide de laquelle on calculait les gains et pertes de chaleur que le calorimètre faisait sur le milieu ambiant pendant la durée de l'expérience. Après l'immersion du corps, on notait la température du calorimètre, de minute en minute, jusqu'à ce que les différences de température se maintinssent parfaitement constantes pendant plusieurs minutes consécutives; on notait alors le refroidissement ou le réchauffement qui avait lieu pendant cinq minutes, et l'on déduisait de cette observation un second point de la ligne des refroidissements. Il était facile, au moyen des observations de température qui étaient faites, de minute en minute, pendant que le corps abandonnait sa chaleur à l'eau, et à l'aide de notre ligne de refroidissement, de déterminer la chaleur que le calorimètre enlevait ou abandonnait, pendant chaque minute, au milieu ambiant. En faisant la somme des gains, puis retranchant la somme des pertes, on avait la correction qu'il fallait apporter à la différence des températures initiale et finale observées du calorimètre pour obtenir le réchauffement ou le refroidissement produit uniquement par la chaleur perdue ou gagnée par le corps dont on déterminait la capacité calorifique. La température finale admise était celle à partir de laquelle on faisait la dernière expérience de refroidissement pendant cinq minutes.

La valeur en eau du calorimètre, de son eau contenue, du petit agitateur et du petit thermomètre qui y plongeait, a été déterminée en mesurant l'élévation de température

Digitized by Google

produite par un poids connu de mercure chauffé à 100 degrés. Le mercure était contenu dans une ampoule de verre mince terminée par une tige de verre effilée, à l'aide de laquelle on transportait l'ampoule et on l'agitait dans le calorimètre.

Le poids du mercure contenu dans le calorimètre était de	210gr,559
Le poids de l'ampoule de verre, diminué de celui de la petite portion de tige non plongée.....	4,896

On a admis, dans toutes les expériences dont je vais citer les résultats, que la capacité calorifique du verre était constante, et représentée par 0,1977. La chaleur spécifique du mercure entre + 10 degrés et + 100 degrés a été posée = 0,03332.

L'ampoule était maintenue plongée dans un tube de verre rempli de mercure, et placée au milieu de la vapeur de l'eau en ébullition; on l'y laissait pendant une demi-heure avant de la plonger dans l'eau du calorimètre. Voici les données des deux expériences :

		I.	II.
Températ. du mercure au moment de l'immersion.....	T =	99°,65	99°,65
Température initiale du calorimètre...	t =	8,44	10,72
Température finale.....	t' =	14,41	16,00
Élévat. de températ. produite (corrigée)	Δt =	5,6241	5,4865
Valeur en eau du calorimètre, déduite de l'expérience.....		119,92	120,63

J'ai admis, pour la valeur en eau du calorimètre, la moyenne entre ces deux résultats; savoir : 120,275.

La même ampoule a été refroidie dans l'acide carbonique solide; on l'y laissait environ une demi-heure, en tassant fréquemment l'acide carbonique et en remplaçant par de l'acide solide celui qui s'évaporait. La chaleur abandonnée au mercure par le calorimètre se compose :

1°. De la chaleur nécessaire pour élever la température

Digitized by Google

du mercure solide depuis — 77°,75 jusqu'à — 40 degrés que j'ai supposé être son point de fusion ;

2°. De la chaleur latente que le mercure absorbe pour passer de l'état solide à l'état liquide ;

3°. De la chaleur nécessaire pour élever le mercure liquide de — 40 degrés jusqu'à t' ;

4°. De la chaleur que prend l'enveloppe de verre pour élever sa température de — 77°,75 à t'.

Voici les données de ces deux expériences :

	I.	II.
T.....	— 77°,75	— 77°,75
t.....	13,61	18,03
t'.....	4,61	7,91
Δt.....	10,2262	10,5170
Chaleur totale prise par 100 grammes de mercure....	5,4893	5,6410
Si l'on retranche la chal. latente de fusion qui, d'après M. Person, est de	2,8200	2,8200
On trouve.....	2,6693	2,8210

pour la chaleur que 100 grammes de mercure prennent pour élever leur température de — 77°,75 à t', déduction faite de la chaleur de fusion. Cela donne, pour la chaleur spécifique moyenne de ce métal entre ces limites de température,

0,03241 0,03293

Le mercure était à l'état solide dans un intervalle de 37°,75, et liquide dans un intervalle de 45 à 48 degrés. Si l'on admet que, dans ce dernier intervalle, sa chaleur spécifique est restée la même qu'entre + 10 et 100 degrés, on obtiendra la chaleur absorbée par le mercure solide en retranchant, des quantités de chaleur précédentes, les quantités de chaleur absorbées par le mercure liquide; on aura ainsi :

1,1838 1,2256

Digitized by Google

ce qui donne, pour la capacité calorifique du mercure solide entre — 40 degrés et — 77°,75,

0,03136 0,03247

La moyenne 0,03192 est sensiblement plus faible que le nombre 0,03332 que j'ai trouvé pour la capacité calorifique du mercure liquide entre + 10 et + 100 degrés.

Il existe entre les deux valeurs 0,03136 et 0,03247 une différence qui s'élève à $\frac{1}{30}$ de la valeur totale; on ne peut guère espérer une plus grande précision dans des expériences de cette nature, parce que la portion de chaleur absorbée par le mercure solide n'est guère que le $\frac{1}{3}$ de la quantité totale prise par ce corps dans notre expérience, et que c'est sur elle que se portent toutes les erreurs.

Chaleur spécifique du plomb entre — 77°,75 et + 10 degrés.

J'ai trouvé que la chaleur spécifique du plomb entre + 10 et 100 degrés était 0,03140; elle est notablement moindre entre — 77°,75 et + 10 degrés, savoir, 0,03065, ainsi que le montre l'expérience suivante. Le plomb était sous la forme d'un gros cylindre attaché à un fil de fer très-fin :

Poids du plomb	152gr,30
T	— 77°,75
t	14,19
t'	10,85
Δt	3,4384
Chaleur spécifique	0,03065

Chaleur spécifique et chaleur de fusion du brome.

Le brome avait été extrait d'un bromure de potassium que nous avions soumis à plusieurs cristallisations, et dans lequel il a été impossible de constater la présence de la moindre quantité d'iode. Ce bromure, mélangé du double de son poids de peroxyde de manganèse, a été décomposé

Digitized by Google

par de l'acide sulfurique dans une cornue. On l'a purifié par plusieurs distillations sur du chlorure de calcium fondu et pulvérisé. Son point de fusion a été trouvé à — 7°,32. M. Pierre le place entre — 7 et — 8 degrés.

J'ai fait deux séries d'expériences sur ce corps :

Dans la première, le brome pesait ..	45gr,47
Le verre de l'ampoule pesait.... ...	3,09

J'ai déterminé d'abord la capacité du brome liquide entre + 11°,57 et + 48°,35. A cet effet, l'ampoule était maintenue dans un tube plein de mercure, et placé dans un grand bain d'eau chaude que l'on maintenait à une température rigoureusement constante :

T.....	48°,35
t.....	9,83
t'.....	11,57
Δt.....	1,7297
Chaleur spécifique du brome..	0,11094

La chaleur spécifique que nous trouvons ici pour le brome est encore un peu plus grande que celle que M. Andrews lui assigne; par conséquent, elle ne satisfait nullement à la loi des chaleurs spécifiques.

La même ampoule de brome, refroidie dans un mélange réfrigérant de glace et de chlorure de calcium cristallisé, a donné :

	I.	II.
T.....	— 28°,25	— 22°,26
t.....	17,57	16,84
t'.....	9,72	9,34
Δt.....	7,6906	7,3853
Chaleur absorbée par 100gr de brome.	19,8320	19,1100

Enfin, une expérience faite dans l'acide carbonique solide a donné :

Digitized by Google

T.	— 77°,75
t.	17,90
t'.	8,79
Δt.	9,4426
Chaleur absorbée par 100gr de brome.	23,8126

Dans la seconde série d'expériences, le brome pesait..	40gr,124
Le verre de l'ampoule pesait.	2,500

Une première expérience dans l'eau chaude a donné :

T.	58°,36
t.	10,74
t'.	13,21
Δt.	1,887
Chaleur spécifique du brome.	0,11294

La chaleur spécifique que nous trouvons ici pour le brome est encore plus grande que celle que nous avons obtenue de l'expérience correspondante de la première série; mais dans celle-ci, le corps passait de 48 degrés à 10, tandis que dans l'expérience de la seconde série il passe de 58 à + 13 degrés. La chaleur spécifique se rapporte donc, dans cette dernière expérience, à des températures plus élevées; il n'est donc pas étonnant qu'on lui trouve une valeur plus grande.

Une expérience a été faite ensuite sur la même ampoule refroidie dans un mélange réfrigérant, mais maintenu à une température supérieure au point de solidification du brome :

T.	— 6°,23
t.	10,91
t'.	10,44
Δt.	0,6473
Chaleur spécifique du brome	0,10513

Cette chaleur spécifique, qui se rapporte toujours au brome liquide, mais entre les températures très-basses de

Digitized by Google

— 6°,23 et de + 10°,4, est beaucoup plus faible que celles que nous avons trouvées précédemment pour des températures plus élevées ; elle est même moindre que celle qui a été obtenue par M. Andrews. Il convient cependant de remarquer que cette expérience présente moins de garantie d'exactitude que les précédentes, à cause de la faible différence de température Δt.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons admettre, d'après l'ensemble de nos déterminations, que la chaleur spécifique du brome liquide entre — 7°,3 et + 10 degrés, est environ de 0,106 ; et entre + 6 degrés et + 14, elle est environ de 0,108.

L'erreur qui peut exister sur ces valeurs est, dans tous les cas, très-petite, et ne peut exercer aucune influence fâcheuse dans l'emploi que nous allons en faire.

Deux expériences faites dans l'ampoule refroidie dans un mélange de chlorure de calcium et de glace, et renfermant le brome solide, ont donné les résultats suivants :

	III.	IV.
	°	°
T.	— 9,19	— 20,33
t	16,79	15,19
t'	10,88	9,17
Δt	6,1299	6,5191
Chal. absorbée par 100gr de brome	18,1273	19,2075

Enfin, une expérience faite dans l'acide carbonique solide a donné :

	II.
	°
T.	— 77,75
t	13,92
t'	6,96
Δt	8,2449
Chal. absorbée par 100gr de brome.	23,6696

Il est facile de déduire des expériences qui précèdent, la chaleur spécifique du brome solide aux basses températures, ainsi que sa chaleur latente de fusion.

Digitized by Google

Considérons d'abord les expériences de la première série, et combinons les résultats obtenus dans le mélange réfrigérant de glace et de chlorure de calcium avec celui de l'acide carbonique solide.

Dans l'expérience I, faite dans le mélange réfrigérant, la température finale du calorimètre est.....	9,72
Dans l'expérience faite dans l'acide carbonique solide, elle était.....	8,79
	0,93

Si, dans cette dernière expérience, la température finale avait été de 9°,72, la chaleur absorbée par le brome aurait été plus forte de 0,93.0,108 = 0,1004; elle aurait donc été de..... 23,9130

Si nous en retranchons la chaleur absorbée par le brome dans l'expérience I du mélange réfrigérant.....	19,8320
il reste pour la chaleur absorbée par 100 gr. de brome solide pour passer de — 79°,75 à — 28°,25.....	4,0810
Ce qui donne pour la chaleur spécifique du brome solide entre — 77°,75 et — 28°,50.....	0,08245

Si nous combinons de la même manière l'expérience faite dans l'acide carbonique solide avec l'expérience II dans le mélange réfrigérant, nous trouvons

Pour la chaleur spécifique du brome solide entre — 77°,75 et — 22°,26	0,08581
La moyenne des deux valeurs est	0,08413

Faisons le même calcul dans la dernière série : l'expérience dans l'acide carbonique solide, combinée avec les deux expériences qui ont été faites dans le mélange réfrigérant, donne, pour la chaleur spécifique du brome solide :

Digitized by Google

Entre — 77°,75 et — 9°,19	0,08700
Entre — 77°,75 et — 20°,33	0,08200
Moyenne	0,08450

La moyenne est..... 0,08432.

La remarque que nous avons faite à l'occasion de la détermination de la chaleur spécifique du mercure solide, explique les différences assez grandes que l'on trouve entre les valeurs particulières que nous venons de calculer; la somme des erreurs porte, en effet, tout entière, sur la petite fraction de l'absorption totale de chaleur de laquelle nous déduisons la chaleur spécifique du brome solide; on ne peut donc pas s'attendre à obtenir une plus grande concordance dans les résultats.

Le produit de la chaleur spécifique 0,08432 par le poids atomique 489,1 est 41,2; il tombe, par conséquent, entre les limites des valeurs de ce produit que j'ai trouvé pour les autres corps simples. Ainsi, *le brome solide satisfait parfaitement à la loi des chaleurs spécifiques.*

Calculons maintenant la chaleur de fusion de ce corps; nous la déduirons des expériences faites dans le mélange réfrigérant. Il suffit, pour cela, de retrancher de la chaleur totale absorbée par le brome : 1° la quantité de chaleur que le brome solide a prise pour passer de la température T à la température — 7°,32 de sa fusion : chaleur qui est exprimée par 0,08432 (T — 7°,32); 2° la chaleur qu'il a absorbée, étant liquide, pour passer de — 7°,32 à + t', et qui est 0,106 (t' + 7°,32). Nous aurons ainsi, pour cette chaleur latente;

I.....	16,26
II.....	16,08
III.....	16,04
IV.....	16,36
Moyenne.....	16,185

Digitized by Google

OBSERVATIONS UDOMÉTRIQUES RECUEILLIES SUR DIVERS POINTS DE LA NOUVELLE-GRENADE;

PAR M. F. ACOSTA.

J'ai l'honneur de présenter à l'Académie la série la plus nombreuse d'observations udométriques qui jusqu'à présent ait été recueillie, je pense, dans nos régions tropicales.

C'est à M. Boussingault qu'on doit l'idée de faire servir les administrations régulières des compagnies de mines à faire des observations qui demandent une longue suite d'années dont les particuliers ne peuvent pas toujours disposer. Cette pensée fut secondée par le zèle éclairé de M. R. Illingworth pendant la longue période où il fut directeur général des compagnies anglaises des mines de la Nouvelle-Grenade.

Ces observations ont été faites à quatre étages de la Cordilière des Andes, savoir : à Sainte-Anne, à 1 000 mètres environ de hauteur au-dessus de la mer; à Marmato, à 1 426 mètres; à la Baja, province de Pamplona, à la hauteur de 2 353 mètres, et finalement à Bogota même, qui est à 2 650 mètres d'élévation absolue au-dessus du niveau de la mer. Voici quelques-unes des déductions qu'on peut tirer de ces observations :

A 1 426 mètres de hauteur, il tombe, en prenant la moyenne de quinze années d'observations, 211 centimètres d'eau par an, distribuée presque également en deux saisons de pluie annuelle, de manière à donner $17^{cent},6$ comme moyenne mensuelle des premiers six mois, et $17^{cent},1$ pour le second semestre.

A Bogota, à la hauteur de 2 650 mètres, presque double de celle de Marmato, il tombe $110^{cent},4$ d'eau par moyenne annuelle, c'est-à-dire environ moitié moins qu'à Marmato; mais déjà la distribution est inégale dans les deux semestres ou saisons de pluie; elle est plus considérable dans le premier, contrairement aux idées généralement reçues dans le pays, qui admettent que les pluies de septembre, octobre et novem-

Digitized by Google

bre sont plus abondantes que celles de mars, avril et mai.

La diminution de la quantité d'eau tombée en proportion de la hauteur sur les montagnes se soutient dans le troisième étage, car à la Baja, dont la hauteur est de 2 353 mètres, il tombe 135^{cent},6 d'eau de pluie comme moyenne annuelle, et distribuée, comme à Bogota, inégalement entre les deux saisons.

Mais à Sainte-Anne, qui est la station la plus basse qu'on ait observée pendant cinq années, il ne tombe que 184^{cent},6, quantité de pluie annuelle moindre que celle qu'on a recueillie à Marmato, qui est cependant placé à une élévation plus grande de 400 mètres. Ici la distribution de la pluie est aussi inégale; mais la quantité est beaucoup plus considérable dans le second semestre, tandis que dans les hautes régions où l'inégalité subsiste, c'est l'inverse qui a lieu. Sainte-Anne, située sur la vallée spacieuse de la Madeleine, est plus dégagée de forêts que Marmato, placé dans un endroit rétréci de la vallée du Canca, entourée de vastes forêts et séparée, par un rideau de montagnes, à peine du Choco où il pleut toujours.

En examinant attentivement les registres détaillés que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie, on verra qu'il y a assez d'inégalités dans les moyennes annuelles, mais qu'une période de trois à quatre ans suffit pour établir l'équilibre, et que la terre reçoit la même quantité d'eau dans cet intervalle, dans les régions élevées, tandis que dans les régions basses les inégalités demandent une série plus longue d'années pour s'équilibrer. En me fondant sur les observations faites l'année dernière avec les instruments portés par M. Lewy, et sur de nouvelles déterminations que je ferai faire avec des udomètres comparés, que j'enverrai sur nos côtes du Choco sur l'océan Pacifique et à Sainte-Marthe sur l'Atlantique, je tâcherai de compléter ce travail, et j'espère pouvoir envoyer à l'Académie, d'ici à deux ou trois ans, le résultat des observations sur ce point important de météorologie qui avait été négligé jusqu'à présent.

Digitized by Google

Tableau n° I. — *Quantité de pluie tombée dans la Nouvelle-Grenade à diverses hauteurs au-dessus du niveau de la mer depuis le 4e degré de latitude jusqu'au 8e. Évaluée en centimètres.*

1°. Sainte-Anne à 1000 mètres environ d'élévation et à 6 degrés de latitude; située sur la vallée de la Madeleine.

	JANVIER.	FÉVRIER	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMB.	OCTOBRE	NOVEMB.	DÉCEMB.	MOYENNES.	
1838.....	25,4	1,7	19,0	1,2	1,2	"	63	63	26,7	30,5	25,9	12,7	13	156,9
1839.....	13,5	18,0	13,9	27,9	15,2	10,2	11,4	178	15,2	29,2	21,4	22,8	18	216,5
1840.....	12,7	"	10,6	22,8	2,5	15,2	12,7	58	10,2	20,3	16,5	7,6	11,4	136,9
1841.....	15,2	17,8	11,4	20,3	53,8	10,2	3,8	5	20,3	29,2	30,5	20,8	19,8	238,3
1842.....	7,6	6,7	6,7	36,3	13,3	5,6	"	30,9	14,5	11,5	24,4	12,7	14,1	170,1
Moy. des mois.	15	88	12,3	17	17,2	82	10	11	22	26	28	16,5	"	"

Moyenne mensuelle du premier semestre, 13 centimètres. Moyenne mensuelle du second semestre, 19 centimètres.
Moyenne annuelle, 184,6.

Digitized by Google

Tableau n° II. — 2°. *Marmato à 1426 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer, situé sur la vallée du Canca.*

	JANV.	FÉVR.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET	AOUT.	SEPT.	OCTOB.	NOVEMB.	DÉC.	MOYENNES.	
1833	7,87	10,9	22,2	10,2	27,9	23,6	"	"	5,1	8,5	33,2	2,5	12,6	151,0
1834	0,7	6,7	7,0	18,1	22,3	34,9	8,5	10,2	13,0	25,9	17,7	17,7	15,8	182,7
1835	5,8	"	31,5	17,6	37,3	31,1	13,5	14,6	25,4	18,8	31,0	43,4	24,7	297,0
1836	26,2	21,7	13,4	24,4	27,3	22,5	22,3	8,5	15,2	26,9	23,9	21,8	21,1	254,0
1837	5.3	10,9	4,0	15,2	26,8	31,5	5,5	11,2	30,0	24,2	23,4	33,4	18,4	221,0
1838	17,5	23,1	13,9	30,9	37,5	37,8	7,6	10,6	29,8	26,6	31,8	20,0	23,9	287,0
1839	5,6	15,0	6,6	25,9	27,9	17,0	6,0	14,7	39,3	35,6	31,7	10,9	19,4	236,0
1840	14,7	8,1	23,1	18,3	25,9	10,7	4,0	5,0	13,7	23,3	14,2	24,6	15,4	183,0
1841	8,1	12,2	10,4	25,9	27,2	13,2	5,3	23,4	10,9	28,4	18,2	24,6	17,3	207,8
1842	8,6	6,1	18,3	18,0	9,0	15,2	2,5	2,3	13,4	19,5	21,2	7,5	11,8	141,6
1843	10,2	29,7	18,7	19,5	23,3	7,3	6,6	5,6	5,2	6,0	5,4	6,1	13,6	163,1
1844	3,0	11,4	17,0	33,2	37,0	16,2	3,3	9,1	13,9	18,5	39,3	21,5	18,6	223,0
1845	14,5	10,9	23,6	22,8	25,1	6,6	5,8	7,0	13,9	13,4	29,7	4,5	14,8	177,8
1846	17,0	4,8	12,4	16.7	29,9	13,9	4,8	15,5	22,3	24,6	33,8	28,7	18,7	224,0
1847	26,4	15,4	17,0	23,6	14,7	11,4	9,1	13,2	23,6	22,3	49,3	6,5	17,4	232,5
Moyenne des mois	10,7	14,3	15,8	21,3	26,4	17,6	6,8	10	18,9	22,1	26,9	18,1	"	"

Moyenne du premier semestre, 17,6. Moyenne du second semestre, 17,1. Moyenne de quinze années, 211,2.

Digitized by Google

Tableau n° III. — 3°. *La Baja, à 7 degrés de latitude, sur la Cordilière orientale, à 2353 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer.*

	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMB.	OCTOBRE.	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	MOYENNE annuelle
1837.....	4,3	6,6	5,8	7,1	28,7	7,4	5,5	4,3	13,5	31,7	12,4	5,0	11,0
1838.....	13,4	8,9	10,9	33,2	27,9	7,3	4,6	4,0	3,8	4,1	29,9	7,0	14,0
1839.....	6,3	1,3	10,1	26,6	9,1	5,6	"	14,5	5,5	40,4	6,3	18,0	10,6
1840.....	2,3	8,1	8,9	26,6	2,3	8,1	3,8	1,3	2,3	8,0	3,7	10,9	7,2
1841.....	0,8	12,7	10,9	25,6	21,6	10,9	3,5	9,6	17,0	21,6	13,2	5,0	13,5
1842.....	7,6	2,5	12,2	34,0	12,9	7,1	5,0	3,5	12,7	10,9	5,0	11,0	11,2
Moy. des mois.	5,8	6,6	9,8	25,5	17,0	7,7	3,7	6,1	10,7	22,3	11,7	7,3	"

Moyenne du premier semestre, 12 centimètres. Moyenne du second semestre, 10,3. Moyenne annuelle, 135,6.

Digitized by Google

Tableau n° IV. – 4°. *Bogota, à 2659 mètres d'élévation, 4° 36′ de latitude, sur un grand plateau de la Cordilière orientale.*

	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMB.	OCTOBRE.	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	MOYENNE annuelle
1837.....	2,3	2,0	5,0	14,5	13,5	4,6	6.8	0,5	6,6	22,8	22,0	5,6	8,8
1838.....	11,4	8,9	11,9	19,0	17,8	7,1	4,3	5,0	2,5	20,4	14,5	7,1	10,8
1839.....	2,5	2,3	9,9	5,1	10,4	4,3	8,6	3,5	3,5	13,9	3,0	3,0	7,5
1840.....	2,5	10,4	16,5	18,0	9,4	9,3	9,0	8,6	"	96	8,1	11,7	9,4
1841.....	2,3	12,7	8,6	15,2	7,6	10,4	6,1	5,6	5,6	15,5	15,4	18,5	10,3
1842.....	10,6	1,3	7,6	15,2	10,6	5,0	8,9	1,3	7,6	17,2	12,7	3,0	8,4
Moy. des mois	5,2	6,3	9,9	18,0	11,5	6,8	7,3	4,1	4,3	16,5	12,6	8,1	"

Moyenne du premier semestre, 9,6. Moyenne du second semestre, 8,8. Moyenne de six années, 110,4.

Digitized by Google

NOUVEAU PROCÉDÉ POUR RECONNAITRE L'IODE ET LE BROME;

PAR M. ALVARO REYNOSO.

Le moyen employé pour reconnaître ces corps, quand ils se trouvent à l'état d'iodures ou de bromures, consiste à les dissoudre dans l'eau, à y ajouter de l'amidon à l'état d'empois, ou de l'éther et quelques gouttes d'eau de chlore. Le chlore s'empare du métal combiné à l'iode ou au brome, et ces corps colorent l'amidon en bleu, ou se dissolvent dans l'éther; mais l'iode et le brome ayant la propriété de se combiner directement avec le chlore, et de former un chlorure d'iode ou de brome, le chlore, pour accuser la présence de ces corps, ne doit pas être employé en excès, parce que les chlorures d'iode ou de brome se décomposent au contact de l'eau, en produisant de l'acide chlorhydrique et de l'acide iodique ou bromique, qui sont sans action sur l'amidon ou sur l'éther.

Cette expérience était très-difficile à faire; souvent même on voulait reconnaître ces corps et on ne les trouvait pas : on croyait que cela tenait à l'inconvénient ci-dessus. Alors on diminuait la quantité de chlore, dans la crainte de dépasser les proportions nécessaires, et il arrivait que la quantité de chlore n'était pas suffisante pour mettre en liberté l'iode. La manière dont on employait le chlore se prêtait aussi à l'erreur; en effet, on sait qu'une dissolution de chlore s'affaiblit avec le temps, et qu'enfin elle disparaît tout à fait, malgré toutes les précautions possibles. Ainsi, en versant dans la dissolution d'un iodure ou d'un bromure une petite quantité d'eau de chlore, il arrivait que l'iode n'était pas mis en liberté, et que tout le chlore était employé à former de l'acide chlorhydrique. Cette méthode n'était donc pas applicable à la recherche de petites quantités d'iodures ou de bromures, surtout quand ces corps se trouvaient mêlés avec des substances capables de s'emparer

Digitized by Google

du chlore. Il était dès lors à désirer qu'on isolât l'iode ou le brome au moyen d'un corps incapable d'agir sur eux, quel que fût son excès. L'eau oxygénée remplit tout à fait ces conditions. Elle décompose l'acide iodhydrique ou bromhydrique, sans avoir aucune action sur l'iode ou le brome mis en liberté.

Voici comment on procède pour l'iode. On prend un petit tube fermé par un bout, et l'on y met un morceau de bioxyde de barium; on y ajoute de l'eau distillée, de l'acide chlorhydrique pur et de l'empois d'amidon; on attend que l'on voie venir des bulles à la surface pour y ajouter l'iodure. On voit à l'instant une coloration qui est d'un rose bleu, si la quantité d'iode est un peu considérable, et d'un bleu bien foncé, si la quantité d'iode est notable.

Il est plus convenable d'opérer dans ces conditions, tant sous le rapport des manipulations, qui deviennent très-faciles, que sous celui de la réussite de l'expérience. De cette manière, on est sûr d'employer un excès d'eau oxygénée nécessaire quand il existe des hyposulfites, sulfites ou sulfures; et d'ailleurs, l'acide chlorhydrique employé dans la préparation de l'eau oxygénée joue aussi un rôle important, car il sert à mettre en liberté l'acide iodhydrique :

$$BaO^2 + (ClH)^2 + IH, KO + HO = BaO, ClH + KO, ClH + 2(HO) + I.$$

Bien qu'il soit hors de doute que l'acide chlorhydrique, en réagissant sur le bioxyde de barium, en présence de l'eau, produit de l'eau oxygénée, j'ai voulu m'assurer que c'était bien HO^2 qui produisait le résultat obtenu; alors j'ai substitué à l'acide chlorhydrique l'acide tartrique, et j'ai obtenu le même but. M. Thenard avait d'ailleurs signalé la décomposition de l'acide iodhydrique par l'eau oxygénée pure.

Quand les iodures se trouvent mêlés avec des chlorures, sulfures, sulfites ou hyposulfites, le procédé est tout aussi exact; seulement, comme, par l'action de l'acide chlorhydrique sur le sulfure, il se produit de l'hydrogène sulfuré

Digitized by Google

qui est décomposé par l'eau oxygénée, et que les hyposulfites et sulfites passent à l'état de sulfate en absorbant de l'oxygène, il faut une plus grande quantité d'eau oxygénée que si l'iodure était pur.

Les hyposulfites et les sulfites, en passant à l'état de sulfates, produisent dans la liqueur un précipité de sulfate de baryte; ce qui pourrait arrêter l'action, si l'on n'agitait pas pour détacher le sulfate de baryte de la surface du bioxyde de barium : du reste, c'est une précaution qu'on doit prendre toujours pour augmenter la production d'eau oxygénée. Par ce procédé, on décèle très-bien dans l'urine d'un malade prenant $0^{centigr},10$ d'iodure de mercure matin et soir, la présence de l'iode. Au moyen du chlore, ces mêmes urines n'ont rien produit. Voilà le cas où, malgré toutes les précautions, l'iode passait inaperçu par le chlore.

Dans les cendres de l'éponge, ce procédé accuse la présence des iodures. Une goutte d'une dissolution de $0^{gr},010$ d'iodure de potassium dissous dans un litre d'eau, produit, chaque fois qu'elle tombe dans le tube, une coloration bleue assez manifeste à la surface. En agitant, la couleur bleue disparaît, et la liqueur prend une teinte rose; en ajoutant une nouvelle goutte, on obtient de nouveau la coloration bleue à la surface. Ainsi ce procédé indique très-commodément moins de $\frac{1}{100000}$ d'iodure de potassium.

Pour le brome, le procédé est le même; seulement, au lieu de mettre de l'amidon, on met de l'éther : on agite; le brome se dissout dans l'éther et se colore en jaune plus ou moins foncé, suivant la quantité.

On peut supprimer l'éther et mettre simplement de l'amidon; on a alors un précipité jaune-rougeâtre, dans tout le tube, de bromure d'amidon. Ce moyen est plus convenable. Le brome, en agissant sur l'amidon, produit une véritable combinaison, et non pas une simple pénétration, comme pense M. Dupasquier (*Traité de Chimie*, tome I, page 648).

Digitized by Google

La preuve que c'est une combinaison, c'est que l'éther agité avec lui ne se colore pas, et, par conséquent, ne le recompose pas; aussi, l'amidon finit par décolorer l'éther tenant du brome en dissolution.

Si l'iode et le brome ne se combinaient pas tous deux avec l'amidon, on pourrait les séparer en les mettant en liberté en présence de l'amidon, l'iode se combinerait avec l'amidon, et le brome pourrait se dissoudre dans un peu d'éther qu'on y ajouterait, de manière qu'on obtiendrait une coloration bleue en bas, et teintée jaune en haut; mais comme tous les deux possèdent cette propriété et que, de plus, le bromure d'amidon est indécomposable par l'éther, on ne peut pas opérer dans ces circonstances.

Il faut donc recourir à la méthode de M. Dupasquier, et l'employer avec tous les soins possibles pour éviter le cas d'erreur. Comme le brome a besoin de bien plus de chlore que l'iode pour disparaître, alors on est moins sujet à des erreurs.

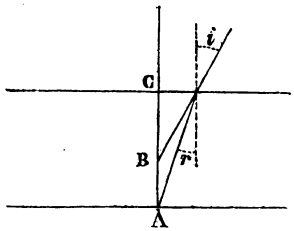
NOTE

Sur la mesure des indices de réfraction des lames transparentes et des liquides à l'aide du microscope ordinaire;

PAR M. A. BERTIN.

Dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* pour 1767, le duc de Chaulnes a proposé une méthode pour déterminer l'indice de réfraction d'une lame de verre. Cette lame étant placée sous le microscope, on mesure le déplacement qu'il faut lui donner pour apercevoir successivement les petites poussières qui se trouvent sur la première face, puis sur la seconde.

Digitized by Google



Un point A de la face inférieure, situé sur l'axe du microscope, apparaît en B; de sorte que, quand on a visé sur le point C de la face supérieure, il suffit, pour apercevoir le point A, de rapprocher la lame d'une quantité BC, qu'on peut appeler son *épaisseur apparente*, et il est facile de voir que

$$\frac{AC}{BC} = \frac{\tang i}{\tang r},$$

ou, à cause de la petitesse des angles i et r,

$$\frac{AC}{BC} = \frac{\sin i}{\sin r} = n.$$

Ainsi, pour avoir l'indice de réfraction n, il suffit de prendre le rapport de deux longueurs qui sont :

$AC = e$ l'épaisseur réelle de la lame;

$BC = \varepsilon$ son épaisseur apparente, mesurée par le déplacement qu'il faut donner au microscope pour apercevoir successivement les deux points A et C.

Voici, comme application de cette méthode, quelques nombres extraits du Mémoire cité :

	Épaiss. réelle.	Épaiss. apparente.	Indice.
	lig	lig	
Trois glaces de Saint-Gobin.	8,53	5,66	1,507
L'une d'elles seule.....	2,80	1,90	1,473
Cristal d'Allemagne.....	3,25	1,91	1,701
Glace de Venise.....	1,48	1,00	1,480

Toutes les lames avaient des épaisseurs comprises entre $1^{l},48$ et $3^{l},25$ ou entre $3^{mm},339$ et $7^{mm},331$. L'auteur estime

Digitized by Google

qu'il les déterminait à $\frac{1}{100}$ de ligne; quant au déplacement du microscope, il le mesurait à $\frac{1}{50}$ de ligne à l'aide d'une vis micrométrique.

Quoique cette méthode soit peu sensible, puisqu'elle permet des erreurs de 0,03, elle peut être utile dans certains cas où le procédé direct n'est pas applicable; mais il serait avantageux de la modifier de manière à se passer de la vis micrométrique, qu'on ne rencontre jamais dans les microscopes ordinaires. On y parvient de la manière suivante :

Donnons à l'oculaire de notre microscope beaucoup de tirage. Plaçons sur la platine d'abord un verre mince servant de support, puis la lame dont nous voulons mesurer l'indice. et enfin, par-dessus cette lame, un verre porte-objet, ou, mieux encore, un micromètre. En amenant l'objectif au point, nous apercevrons l'objet avec un certain grossissement G. En mettant, au contraire, le micromètre sous la lame, sans changer l'objectif, il faudra enfoncer l'oculaire pour retrouver l'image, et alors on la verra avec un grossissement plus petit γ. Enfin, en enlevant la lame pour mettre le micromètre à nu, il faudra, de nouveau, enfoncer l'oculaire, et on retrouvera l'image avec un grossissement encore plus petit g.

Or, quand un objet est devant l'objectif du microscope, à une distance p, son image est par derrière à une distance p' telle, que

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f};$$

et comme le grossissement produit par l'objectif est $\frac{p'}{p}$, nous pouvons écrire

$$1 + \frac{1}{G} = \frac{p}{f}.$$

Remarquant donc que si dans la première de nos expériences le micromètre est à une distance p, cette distance devient $p + \varepsilon$ dans la deuxième expérience, et $p + e$ dans

Digitized by Google

la troisième, nous poserons les trois équations

$$1 + \frac{1}{G} = \frac{p}{f},$$

$$1 + \frac{1}{\gamma} = \frac{p + \varepsilon}{f},$$

$$1 + \frac{1}{g} = \frac{p + e}{f};$$

d'où nous conclurons d'abord

$$\frac{1}{g} - \frac{1}{G} = \frac{e}{f},$$

$$\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{G} = \frac{\varepsilon}{f},$$

et ensuite

$$\frac{e}{\varepsilon} \quad \text{ou} \quad n = \frac{\frac{1}{g} - \frac{1}{G}}{\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{G}},$$

ou bien

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Il est vrai que les grossissements observés, étant les produits des grossissements de l'objectif par celui de l'oculaire, ne sont pas exactement ceux que j'ai introduits dans les équations; mais ils leur sont proportionnels, et cela suffit pour qu'il soit permis de les employer dans le calcul de l'indice. Quant à ces grossissements eux-mêmes, je n'ai pas trouvé de meilleur moyen pour les mesurer que de regarder l'image avec un œil, pendant que de l'autre je la projetais sur les deux pointes d'un compas posé sur la platine, et embrassant un certain nombre de divisions. L'ouverture du compas était reportée sur une règle divisée en demi-millimètres; le nombre lu sur la règle, divisé par le nombre des traits du micromètre embrassés par le compas, donnait le cinquième du grossissement, le micromètre marquant des dixièmes de millimètres.

Digitized by Google

J'avais à ma disposition trois verres taillés en parallélipipèdes de Fresnel, c'est-à-dire en lames terminées par des prismes. J'ai donc pu déterminer leur indice de réfraction de deux manières, par la méthode ordinaire et par celle que je viens d'indiquer.

Mesurés au goniomètre de Babinet, ces indices sont :

Pour le verre ordinaire	1,507
Pour le flint Mathiessen.....	1,696
Pour le flint Guinant	1,720

J'ai mesuré de même leurs indices de réfraction au microscope; les résultats sont compris dans le tableau suivant:

	ÉPAISSEUR.	GROSSISSEMENTS			INDICE
	e	G	*γ*	*g*	*n*
	mm				
Verre ordinaire.....	11,411	106,7	28,6	21,1	1,485
	"	158,5	31,7	22,7	1,496
	"	212,5	42,0	30,0	1,498
	"	330,0	65,0	46,0	1,511
Id......	4,339	152,5	60,7	47,0	1,496
	"	207,5	83,0	64,0	1,495
	"	325,0	128,5	98,3	1,508
Flint Mathiessen.....	11,051	93,3	31,0	21,1	1,702
	"	130,0	34,0	22,5	1,692
	"	155,0	35,7	23,0	1,714
	"	213,7	48,2	31,1	1,709
	"	280,0	70,0	46,0	1,695
	"	330,0	75,0	48,5	1,707
Flint Guinant.....	12,350	157,7	33,1	21,1	1,720
	"	215,0	45,0	28,5	1,732
	"	330,0	70,0	44,5	1,753
Spath d'Islande.... .	9,563	155,0	39,5	26,2	1,681
Image extraordinaire.	"	"	35,0	"	1,434

Lorsque les lames sont très-épaisses, et c'est peut-être ici le cas, les grossissements *γ* et *g* deviennent petits, et, par suite, peu différents l'un de l'autre. Il convient alors de ne pas mesurer directement leurs indices, mais de comparer

Digitized by Google

l'effet produit par la lame qu'on veut étudier à celui que produirait une autre lame d'indice et d'épaisseur connus. Les équations précédentes donnant

$$\frac{e-\varepsilon}{f}=\frac{1}{g}-\frac{1}{\gamma},$$

c'est-à-dire

$$\frac{e\left(1-\frac{1}{n}\right)}{f}=\frac{1}{g}-\frac{1}{\gamma},$$

on en conclut

$$\frac{e\left(1-\frac{1}{n}\right)}{e'\left(1-\frac{1}{n'}\right)}=\frac{\frac{1}{g}-\frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{g}-\frac{1}{\gamma'}},$$

et cette équation détermine n en fonction de n'. Voici, comme application de cette méthode, trois séries d'expériences faites sur les trois verres précédents.

	Les grossissements sont :		
	I.	II.	III.
Le micromètre étant nu.....	41,5	55,5	84,5
Sous le verre ordinaire d'ép. 11,411..	90,8	122,0	187,5
Sous le flint Mathiessen d'ép. 11,051..	116,0	154,0	240,5
Sous le flint Guinant d'ép. 12,350..	151,5	202,5	316,0

En adoptant pour l'indice de réfraction du verre ordinaire $n'=1,51$, on déduit de ce tableau :

	I.	II.	III.
Pour le flint Mathiessen..... $n=$	1,700	1,692	1,700
Pour le flint Guinant..... $n=$	1,715	1,712	1,712

Les deux méthodes précédentes sont évidemment applicables à la mesure des indices de réfraction des liquides. Il suffirait d'en remplir de petites cuves cylindriques fermées par des verres minces, et alors on les étudierait sous le microscope, absolument comme les lames précédentes. La

Digitized by Google

première méthode a cet avantage, qu'elle permet de déterminer directement l'indice de réfraction d'un liquide donné.

Concevons, en effet, une petite cuve de 5 ou 6 millimètres d'épaisseur, sur les deux faces de laquelle seraient tracés intérieurement deux micromètres. Puis, la cuve étant vide et placée sous le microscope, mettons l'oculaire au point, pour voir le micromètre supérieur d'abord, et ensuite le micromètre inférieur; le premier apparaîtra avec un grossissement G, et le second avec un grossissement g. Enfin, introduisons le liquide dans la cuve, ce qui peut se faire sans la démonter, et, par conséquent, sans craindre d'en modifier ni la grandeur ni la position, et retirant l'oculaire, cherchons à voir de nouveau le micromètre inférieur; nous le retrouverons avec un grossissement γ, et nous aurons

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Je ferai remarquer, en terminant, que la mesure des grossissements peut remplacer également l'emploi de la vis micrométrique dans le procédé imaginé par Brewster, pour déterminer au microscope l'indice de réfraction des liquides dont on n'a que de petites quantités, ainsi que des substances seulement translucides. Dans ce procédé, une lame mince de verre étant placée tangentiellement à l'objectif, de manière à comprendre entre elle et cette lentille un ménisque plan concave, on met le microscope au point sur un micromètre, et on détermine, à l'aide d'une vis micrométrique, les trois distances p, p_1, p'_1 du micromètre à l'objectif, d'abord lorsque le ménisque est vide, puis lorsqu'il est plein du liquide dont l'indice n est inconnu, et enfin lorsqu'il est rempli par de l'eau dont l'indice n' est censé connu. L'interposition du ménisque liquide diminuant le pouvoir convergent $\left(\frac{1}{f}\right)$ de l'objectif de $\frac{n-1}{r}$, r étant le rayon de la courbure du ménisque, on voit que les trois

Digitized by Google

expériences donnent les trois équations

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f},$$

$$\frac{1}{p_1}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}-\frac{n-1}{r},$$

$$\frac{1}{p'_1}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}-\frac{n'-1}{r};$$

d'où l'on déduit d'abord

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{p_1}=\frac{n-1}{r},$$

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{p'_1}=\frac{n'-1}{r},$$

et ensuite

$$\frac{n-1}{n'-1}=\frac{\frac{1}{p}-\frac{1}{p_1}}{\frac{1}{p}+\frac{1}{p'_1}}.$$

Au lieu de cette mesure micrométrique que nous ne pouvons pas faire, et qui, d'ailleurs, est insuffisante pour déterminer p, mesurons, dans les trois circonstances, les trois grossissements g, γ, γ' du micromètre, et en nous rappelant que $g=\frac{p'}{p}$, nous aurons

$$g+1=\frac{p'}{f},$$

$$\gamma+1=\frac{p'}{f}-\frac{p'(n-1)}{r},$$

$$\gamma'+1=\frac{p'}{f}-\frac{p'(n'-1)}{r};$$

d'où nous conclurons

$$g-\gamma=\frac{p'(n-1)}{r},$$

$$g-\gamma'=\frac{p'(n'-1)}{r},$$

et enfin

$$\frac{n-1}{n'-1}=\frac{g-\gamma}{g-\gamma'}.$$

Digitized by Google

C'est une formule semblable que MM. Ed. Becquerel et Cahours ont employée à la détermination des indices de réfraction des liquides, par le procédé de M. Brewster (*Comptes rendus*, tome XI, page 867).

NOTE SUR LA PRÉPARATION DE L'AZOTE;

PAR M. B. CORENWINDER,

Membre résidant de la Société des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille.

La préparation de l'azote dans les laboratoires présente assez d'inconvénients; de tous les procédés employés, il n'en est aucun qui permette de l'obtenir rapidement et pur, si ce n'est en prenant beaucoup de précautions ou en employant des appareils assez compliqués. Cette circonstance m'engage à faire connaître le moyen par lequel je prépare en peu d'instants une quantité abondante de ce gaz, et dans un état de pureté absolu, ainsi que je m'en suis assuré par les expériences rapportées plus loin.

Ce moyen est fondé sur la décomposition du nitrite d'ammoniaque, qui, comme on le sait déjà, se dédouble en azote et en eau sous l'influence de la chaleur; mais comme ce sel est difficile à préparer, je le remplace par un mélange de nitrite de potasse alcalin et de chlorhydrate d'ammoniaque, mélange qui contient par conséquent les éléments du nitrite d'ammoniaque et du chlorure de potassium.

Pour obtenir le nitrite de potasse dans un état convenable, il faut employer une dissolution de potasse caustique d'une densité de 1,38, y faire passer les gaz nitreux provenant de la décomposition d'une partie d'amidon par 10 parties d'acide nitrique, jusqu'à ce qu'on ait obtenu un produit d'une acidité marquée, et y ajouter ensuite de la potasse caustique de manière à le rendre franchement alcalin.

Le nitrite ainsi préparé étant susceptible de se conserver

Digitized by Google

sans altération, on peut en faire une provision, et lorsque l'on veut préparer de l'azote, il suffit d'en mélanger 1 volume avec 3 volumes de chlorhydrate d'ammoniaque en dissolution bien concentrée, de chauffer le tout dans un petit ballon avec quelques charbons; le dégagement se produit bientôt et continue avec une régularité parfaite.

Comme il est nécessaire, pour avoir du gaz pur, que le nitrite soit alcalin, on conçoit qu'il se dégage en même temps un peu d'ammoniaque, mais ce départ est toujours sans inconvénient; si l'on veut obtenir de l'azote complétement dépouillé de cet alcali, il suffit de lui faire traverser un flacon contenant un peu d'eau acidulée par de l'acide sulfurique.

Voici, du reste, les expériences qui ne me laissent plus de doute sur la pureté de l'azote ainsi obtenu :

1°. Après l'avoir dépouillé de l'ammoniaque, de la manière indiquée plus haut, j'ai fait arriver le gaz dans une éprouvette contenant un mélange de zinc, d'acide sulfurique et d'eau, en présence par conséquent d'un dégagement d'hydrogène naissant.

L'expérience a été continuée pendant assez longtemps, et lorsqu'elle a été terminée je n'ai pas trouvé d'indice d'ammoniaque dans la dissolution. Le résultat a été aussi négatif avec du sulfure de fer et de l'acide sulfurique étendu.

2°. J'ai placé dans un tube de verre à analyse organique un poids déterminé de cuivre réduit récemment par l'hydrogène, et je l'ai soumis, pendant une demi-heure environ, à l'action d'une température rouge et d'un courant d'azote lavé, et desséché ensuite par de la ponce sulfurique, en prenant, bien entendu, la précaution de ne chauffer le tube qu'après que tout l'air atmosphérique avait été chassé par le dégagement du gaz. L'expérience a été répétée plusieurs fois, et je n'ai pas observé d'altération dans l'aspect extérieur du cuivre ni d'augmentation dans son poids.

Digitized by Google

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MAI 1849.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim.	ÉTAT DU CIEL. A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	756,96	+12,0		755,90	+15,7		754,75	+17,8		754.61	+13,4		+18,2	+ 7,3	Nuages	N. N. E.
2	753,26	+13,8		752,28	+17,6		751,28	+18,0		751,38	+12,2		+18,7	+12,0	Très-nuageux	N. E.
3	751,10	+16,0		750,83	+20,2		750,17	+22,2		750,59	+18,6		+22,0	+ 9,9	Beau	S. E.
4	752,12	+20,0		751,58	+22,7		751,02	+23,3		750,97	+19,6		+23,5	+12,9	Nuageux	S. E.
5	749,95	+18,7		748,83	+23,1		747,42	+23,1		747,58	+19,2		+24,1	+11,9	Nuages	S. E.
6	748,46	+15,4		748,49	+19,1		747,26	+21,0		748,42	+15,8		+21,9	+13,3	Très-nuageux	N.
7	749,21	+18,0		749,61	+18,9		749,72	+15,2		751,08	+11,6		+19,1	+14,1	Couv. ; gouttes de pl.	S.
8	753,06	+10,7		753,51	+13,3		753,65	+13,3		756,00	+ 7,5		+14,1	+ 9,0	Couvert	N. O.
9	756,14	+ 8,6		756,33	+ 9,2		756,24	+ 9,8		757,23	+ 8,0		+10,5	+ 6,6	Couvert	O.
10	756,35	+10,2		755,50	+13,4		754,62	+14,9		754,00	+ 8,8		+15,0	+ 3,7	Nuages	O. S. O.
11	752,37	+12,4		752,40	+14,0		752,38	+15,6		756,30	+ 9,0		+16,1	+ 7,6	Couvert	N. O.
12	761,68	+ 9,9		762,02	+14,0		762,12	+17,0		762,69	+11,5		+17,0	+ 6,2	Nuageux	N.
13	760,83	+16,5		759,47	+19,8		757,56	+20,1		754,91	+15,0		+21,0	+ 7,0	Nuageux	S.
14	750,58	+12,7		749,29	+15,4		748,32	+17,0		749,07	+12,0		+17,4	+11,9	Couv. ; gouttes de pl.	S. fort.
15	747,65	+14,0		747,40	+16,2		747,95	+18,2		748,00	+15,2		+19,2	+11,0	Nuageux	S. O.
16	747,53	+18,6		747,67	+20,2		747,60	+18,2		745,52	+15,0		+20,2	+13,0	Couvert	S. O.
17	747,09	+17,2		747,12	+18,4		747,54	+17,3		749.00	+12,0		+19,7	+12,1	Nuageux	S. O.
18	749,18	+14,6		750,07	+15,3		751,22	+16,2		754,62	+12,0		+17,8	+11,2	Couvert	S. O.
19	758,78	+13,2		759,19	+15,2		759,37	+16,3		759,20	+12,5		+17,1	+11,0	Couvert	N. O.
20	756,35	+14,5		754,74	+17,9		753,00	+18,2		750,60	+15,5		+18,6	+11,3	Couvert	S.
21	751,00	+15,5		751,63	+17,8		752,62	+17,3		754,68	+14,5		+18,3	+13,0	Couv., qq. éclaircies	S.
22	755,60	+17,0		756,00	+16,2		755,94	+14,5		757,05	+11,0		+17,2	+11,3	Couvert	S. O
23	761,44	+15,6		761,65	+16,2		761,53	+14,8		763,05	+11,8		+17,8	+ 9,7	Couvert	S. O.
24	762,81	+15,7		762,00	+17,8		761,00	+16,8		758,41	+15,2		+18,8	+ 9,0	Nuageux	N. E.
25	758,00	+19,8		757,47	+21,0		756,86	+21,6		757,64	+16,2		+23,2	+10,8	Nuageux	S. S. E.
26	758,57	+22,0		758,28	+23,6		757,84	+24,0		758,43	+16,8		+25,0	+12,3	Beau, quelq. nuages	S.
27	758,71	+25,2		758,29	+25,4		758,00	+24,8		758,19	+21,7		+25,7	+12,8	Beau	S. S. E.
28	758,88	+23,8		758,83	+28,7		758,89	+27,9		760.31	+20,6		+30,2	+16,0	Ciel vollé	S. S. O.
29	761,52	+18,6		761,13	+22,2		760,85	+22,7		761,55	+18,4		+22,9	+15,7	Nuageux	S.
30	762,14	+19,0		761 62	+21,3		760,46	+22,8		760,47	+19,4		+23,2	+14,0	Beau ciel	E. N. E.
31	759,30	+24,5		758,37	+26,8		757,40	+28,3		757,91	+21,7		+29,0	+14,5	Beau	S. S. E.
1	752,66	+14,3		752,29	+17,3		751,61	+17,9		752,19	+13,5		+18,7	+10,1	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	753,21	+14,4		752,93	+16,6		752,71	+17,4		753,05	+13,0		+18,4	+10,2	... Moy. du 11 au 20	Cour. 6,660
3	758.91	+19,7		758,66	+21,5		758,31	+21,4		758,88	+17.0		+22,8	+12.7	... Moy. du 21 au 31	Terr. 6,208
	755,05	+16,2		754,75	+18,6		754,34	+19,0		754,84	+14,5		+20,1	+11,0	... Moyenne du mois	+ 15°,5

Digitized by Google

RECHERCHES CHIMIQUES SUR LA RESPIRATION DES ANIMAUX DES DIVERSES CLASSES;

PAR MM. V. REGNAULT ET J. REISET.

La respiration des animaux a été étudiée par un grand nombre de physiologistes et de chimistes distingués. Les uns se sont occupés uniquement des altérations chimiques que l'air éprouve par le séjour des animaux; les autres ont cherché plus particulièrement quels étaient les organes et les liquides du corps animal qui opéraient ces altérations et qui remplissaient les principales fonctions de la respiration. Nos connaissances très-restreintes en physiologie ne nous permettaient pas d'aborder cette seconde partie de la question; nous nous sommes bornés à la première.

Les altérations que le séjour des animaux produit dans l'air atmosphérique sont dues, non-seulement à la respiration pulmonaire, mais encore aux gaz qui s'exhalent de la peau et par le canal intestinal. Dans le travail que nous présentons aujourd'hui, nous n'avons pas d'abord distingué ces différents effets; nous avons déterminé l'altération totale, en un mot, nous avons étudié le phénomène que les physiologistes modernes ont désigné sous le nom de *perspiration*. Nous avons cherché ensuite, dans des expériences spéciales, à déterminer la part que la perspiration cutanée et celle du canal intestinal peuvent avoir dans le phénomène total.

Notre travail présenterait un intérêt beaucoup plus grand, si nous avions pu nous occuper, à la fois, de la respiration des animaux et de leur nutrition, c'est-à-dire, si le phénomène de la respiration avait pu être étudié sur des animaux soumis à un régime alimentaire rigoureusement déterminé par l'analyse chimique, et si la quantité ainsi que la nature chimique des excrétions avaient pu être fixées

Digitized by Google

avec la même précision. C'est sous ce point de vue d'ensemble que nous avions entrepris nos recherches en commun avec notre ami M. Millon, qui devait s'occuper plus particulièrement de la nutrition des animaux soumis à nos expériences; malheureusement, des occupations diverses et le départ de M. Millon de Paris se sont opposés à la réalisation de nos projets. M. Millon publiera de son côté les expériences qu'il a entreprises sur la nutrition.

Boyle, Hales, Cigna, Black et Priestley sont les premiers qui se soient aperçus que la respiration exerce une action marquée sur l'air de l'atmosphère, qu'elle en diminue le volume, qu'elle en change la nature, et qu'en un assez court intervalle de temps, le fluide qui sert à cette fonction perd la faculté d'entretenir la vie des animaux.

Lavoisier (*Mémoires de l'Académie des Sciences,* années 1777, 1789 et 1790) annonça en 1785 que, très-probablement, la respiration ne se borne pas à une combustion de carbone, mais qu'elle occasionne encore la combustion d'une partie de l'hydrogène contenu dans le sang; et, conséquemment, que la respiration opère non-seulement une formation de gaz acide carbonique, mais encore une formation d'eau. Ce célèbre chimiste s'occupa, à plusieurs reprises, de l'étude de cet important phénomène, tantôt seul, tantôt en compagnie de Laplace ou de Séguin. Il constata que l'azote ne changeait pas sensiblement pendant la respiration, que la production de l'acide carbonique et l'absorption de l'oxygène n'étaient pas constantes pour le même individu; qu'elles étaient plus grandes pendant la digestion, et qu'elles augmentaient encore dans l'état de mouvement et d'agitation. D'après Lavoisier, la machine animale est gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme de l'hydrogène et du carbone, et qui fournit du calorique; la transpiration, qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de chaleur; enfin la digestion, qui rend au sang ce qu'il perd par la res-

Digitized by Google

piration et la transpiration. Les recherches modernes ont confirmé ces vues profondes de l'illustre savant.

Lavoisier constata également que les animaux pouvaient vivre pendant plusieurs heures dans de l'oxygène pur, ou dans un mélange de gaz hydrogène et oxygène, et que la production de l'acide carbonique dans ces atmosphères artificielles ne paraissait pas être différente de celle qui a lieu dans l'air normal.

MM. Allen et Pepys publièrent, en 1808 (*Philos. trans.*, 1808), un travail important sur la respiration pulmonaire de l'homme. Leur appareil se composait de deux petits gazomètres à mercure, dans lesquels se rendaient les produits gazeux de la respiration, et d'un troisième gazomètre à eau, de dimensions beaucoup plus grandes, et qui fournissait l'air nécessaire à la respiration. La personne soumise à l'expérience appliquait la bouche sur une tubulure munie d'un pavillon; le nez était pincé par un ressort : des robinets, placés à sa portée, lui permettaient de puiser, pendant les inspirations, de l'air pur dans le gazomètre à eau; et, pendant les expirations, de diriger l'air vicié dans l'un ou l'autre des gazomètres à mercure. Les principales conclusions du travail de MM. Allen et Pepys sont les suivantes :

La quantité d'acide carbonique exhalée est, volume pour volume, égale à la quantité d'oxygène consommée. Il n'y a donc pas de raison de supposer qu'il y a formation d'eau. Ce n'est que dans des circonstances défavorables pour la respiration, qu'on a remarqué une absorption sensible d'oxygène.

Dans une atmosphère d'oxygène pur, l'homme dégage plus d'acide carbonique que dans une atmosphère d'air.

La respiration ne paraît dégager ni hydrogène, ni aucun autre gaz.

Dans son ouvrage : *De l'influence des agents physiques sur la vie*, Edwards cite un grand nombre d'expériences qu'il a faites sur la respiration des animaux appartenant

Digitized by Google

aux diverses classes. Comme les appareils très-simples qu'il a employés n'avaient qu'une faible capacité, il a été obligé de choisir des animaux de petites dimensions, et de ne prendre, parmi les mammifères, que des individus très-jeunes, tels que cabiais et chiens de 1 ou 2 jours. Edwards déduit de ses expériences les conclusions suivantes :

Le rapport entre l'oxygène que l'on retrouve dans l'acide carbonique respiré et l'oxygène total absorbé, varie depuis $\frac{2}{3}$ jusqu'à l'unité.

Dans certains cas, l'azote de l'air n'a pas subi de changement sensible, et l'on peut admettre qu'il n'y a pas d'exhalation apparente d'azote; les différences pouvant être attribuées aux erreurs de l'analyse. Mais, dans un grand nombre d'autres expériences faites pendant le printemps et l'été, l'excédant d'azote que l'on trouve dans l'air qui a servi à la respiration est tel, qu'on ne saurait nier l'exhalation de ce gaz. Cet excédant surpasse beaucoup le volume des poumons; il forme une partie considérable de celui de l'animal, et il s'est élevé quelquefois au $\frac{1}{5}$ et au $\frac{1}{4}$ du volume total de l'oxygène consommé. Les expériences faites pendant l'hiver sur de petits oiseaux, ont donné un résultat diamétralement contraire : le défaut d'azote était aussi marqué que l'excès dans les expériences faites pendant l'été. Cependant, on n'a jamais observé d'absorption d'azote, soit en été, soit en hiver, sur les mammifères très-jeunes, tels que de petits cabiais.

D'après ces résultats, Edwards pense que lorsqu'un animal respire dans l'air atmosphérique, les fonctions d'absorption et de dégagement d'azote sont simultanées; que, d'une part, il absorbe de l'azote; que, de l'autre, il en exhale. Du rapport entre les quantités d'azote absorbées et exhalées, peuvent provenir trois résultats différents, suivant la constitution des individus et les circonstances où ils sont placés. Lorsque l'exhalation prédomine sur l'absorption, on n'a pour résultat de l'expérience que de l'exhalation;

Digitized by Google

lorsque l'absorption prédomine, la différence est de l'absorption; lorsqu'enfin ces deux fonctions ont lieu dans la même proportion, on ne voit les effets ni de l'un ni de l'autre, et l'azote expiré est égal à l'azote inspiré.

Edwards se fait du phénomène de la respiration l'idée suivante : L'oxygène qui disparaît dans la respiration au milieu de l'air atmosphérique est absorbé en entier; il est ensuite porté, en tout ou en partie, dans le torrent de la circulation. Il est remplacé par une quantité plus ou moins semblable d'acide carbonique exhalé qui provient, en tout ou en partie, de celui qui est contenu dans la masse du sang. En outre, l'animal, respirant de l'air atmosphérique, absorbe de l'azote; cet azote est porté, en tout ou en partie, dans la masse du sang. L'azote absorbé est remplacé par une quantité plus ou moins équivalente d'azote exhalé, qui provient, en tout ou en partie, du sang.

Suivant cette vue, la respiration n'est plus un procédé purement chimique, une simple combustion dans les poumons, où l'oxygène de l'air inspiré s'unirait au carbone du sang pour former de l'acide carbonique qui serait expulsé aussitôt; mais une fonction composée de plusieurs actes : d'une part, l'absorption et l'exhalation, attributs de tous les êtres vivants; d'autre part, l'intervention des deux parties constituantes de l'air atmosphérique, l'oxygène et l'azote.

Lavoisier et Laplace avaient cherché à démontrer, par des expériences directes, que la quantité de chaleur dégagée par un cochon d'Inde pendant un temps donné, était due entièrement, ou presque entièrement à la combustion du carbone et de l'hydrogène qui a lieu dans la respiration. Ces expériences ne paraissant pas assez concluantes, l'Académie des Sciences provoqua un nouvel examen de la question, en la proposant pour sujet de prix. MM. Dulong et Despretz s'en occupèrent simultanément, et obtinrent des résultats à peu près semblables. Nous ne rapporterons

Digitized by Google.

ici que ceux qui ont trait à l'altération que l'air atmosphérique subit par la perspiration des animaux.

D'après M. Despretz (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XXVII), outre l'oxygène employé à la formation de l'acide carbonique, une autre portion de ce gaz, quelquefois très-considérable relativement à la première, disparaît aussi; elle est, en général, plus grande pour les jeunes animaux que pour les animaux adultes. Le rapport entre cette quantité d'oxygène disparu et la quantité totale d'oxygène consommé, a varié, dans ses expériences, de 0,22 à 0,38. Il y a exhalation d'azote dans la respiration des mammifères carnivores ou frugivores et dans celle des oiseaux; la quantité en est plus grande chez les frugivores que chez les carnivores. Dans les expériences de M. Despretz, le rapport entre le volume de l'azote exhalé et le volume total de l'oxygène consommé, a varié de 0,10 à 0,33.

D'après Dulong (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome I), le volume total de l'oxygène consommé est également plus grand que celui de l'acide carbonique; il y a donc une portion de cet oxygène absorbée autrement que pour la formation de l'acide carbonique. L'excès du volume de l'oxygène absorbé sur celui de l'acide carbonique, fait, terme moyen, le $\frac{1}{10}$ de ce dernier, et ne s'élève jamais au $\frac{1}{5}$ pour les lapins, les cabiais et les pigeons. Au contraire, pour les chiens, les chats et la crécerelle, ce même rapport n'est jamais au-dessous de $\frac{1}{4}$. Il est presque toujours à peu près $\frac{1}{3}$, et quelquefois $\frac{1}{2}$. Les différentes époques de la digestion ne paraissent pas influer, d'une manière constante, sur ces variations; mais l'absorption est toujours plus forte dans le jeune âge que dans la vieillesse.

En comparant le volume de l'air expiré et celui de l'air inspiré, Dulong reconnut, dans certains cas, une diminution précisément égale à celle que l'analyse indiquait dans l'oxygène; dans d'autres, et c'était le plus grand nombre, la diminution était moins grande que celle qui aurait eu

Digitized by Google

lieu si l'azote restait constant; enfin, dans un petit nombre, le volume expiré était plus grand que le volume inspiré. Ce dernier cas ne fut observé que chez les animaux frugivores. L'augmentation dans le volume de l'azote étant très-souvent supérieure aux erreurs que ce genre d'observation comporte, Dulong en conclut que, dans l'acte de la respiration, il se dégage un volume d'azote toujours inférieur à l'oxygène absorbé par les carnivores, et quelquefois, mais rarement, supérieur dans les frugivores. Dans les expériences rapportées par Dulong, le dégagement d'azote, comparé au volume de l'oxygène total consommé, a varié depuis 0,00 jusqu'à 0,28; dans une seule expérience, on a reconnu une absorption d'azote qui équivalait à 0,06 du volume de l'oxygène consommé.

La différence essentielle, sous le point de vue qui nous occupe, entre les résultats obtenus par Dulong et ceux de M. Despretz, consiste en ce que, dans les premiers, le dégagement d'azote a été, en général, trouvé plus faible. Mais il est facile de reconnaître, par un raisonnement bien simple, que cette énorme exhalation d'azote qui aurait lieu dans la perspiration des animaux, est absolument impossible. En effet, la quantité d'azote exhalée pendant vingt-quatre heures par la respiration d'un animal, serait non-seulement très-supérieure à celle qui existe dans les aliments que prend l'animal pendant le même temps, mais encore, ainsi que l'a fait observer M. Liebig (*Journal de Pharmacie*, t. VIII, page 24), elle serait telle, qu'en négligeant même la quantité considérable d'azote qui est évacuée dans les excrétions, l'animal dégagerait, en quelques jours, plus d'azote qu'il n'en renferme dans tout son individu. Mais, si la quantité d'azote exhalée est inexacte dans ces expériences, il est très-probable que le rapport entre l'oxygène qui se trouve dans l'acide carbonique et l'oxygène total fourni par l'air, n'est pas exact non plus; car les proportions des gaz

Digitized by Google

qui constituent l'air vicié par la respiration, ont été déterminées dans une même analyse.

MM. Valentin et Brunner et M. Erlæch (*Physiologie de Valentin*, 2e édition, tome I) ont publié récemment de nombreuses expériences, tant sur la respiration pulmonaire de l'homme que sur la perspiration des animaux. Ces expériences peuvent fournir des éléments précieux à l'étude physiologique de la respiration, mais elles ne donnent aucune solution certaine pour les diverses questions que nous nous sommes proposé de traiter; la raison en est que, dans la méthode suivie par ces auteurs, on ne connaît exactement ni le volume initial de l'air pur, ni le volume final de l'air vicié.

Quoi qu'il en soit, MM. Valentin et Brunner ont fondé sur leurs expériences une nouvelle théorie de la respiration, qu'ils ramènent, en dernière analyse, à un phénomène de *diffusion des gaz*. Nous allons essayer d'en donner une idée; celle-ci sera probablement incomplète, car nous devons convenir que nous ne l'avons pas bien comprise.

Lorsque deux gaz, sans affinité chimique l'un pour l'autre, sont séparés par une membrane poreuse, et soumis à des pressions égales, il y a diffusion des deux gaz l'un dans l'autre, jusqu'à ce que les volumes échangés soient entre eux en raison inverse des racines carrées de leurs densités. Cette loi a été principalement établie par des expériences très-précises de M. Graham.

La densité de l'air atmosphérique à o degré, et sous la pression de $0^m,760$,

	étant 1,00000	dont la racine carrée est	1,0000
Celle de l'oxygène est.	1,10563	»	1,0515
Celle de l'ac. carbon..	1,52910	»	1,2366
Celle de l'azote.....	0,97137	»	0,9856

Si donc de l'oxygène et de l'azote, sous pressions égales, s'échangent ainsi par voie de diffusion à travers une paroi

Digitized by Google

poreuse, pour 1 volume d'oxygène qui entre, il doit sortir $\frac{0,9856}{1,0515} = 0,9373$ d'azote. Si les gaz séparés par la membrane sont de l'oxygène et de l'acide carbonique, il devra passer $\frac{1,0515}{1,2366} = 0,8503$ d'acide carbonique pour 1 volume d'oxygène.

MM. Brunner et Valentin admettent que, dans la respiration des animaux, il se passe un phénomène semblable de diffusion. Le sang qui revient aux poumons, après avoir traversé l'appareil circulatoire, renfermant une grande proportion d'acide carbonique en dissolution, il s'établirait, à travers la membrane du poumon, entre ce gaz et l'oxygène de l'air atmosphérique remplissant la cavité pulmonaire, une diffusion assujettie à la loi que nous venons de rappeler. Le sang perdrait à travers la membrane une portion de son acide carbonique, et absorberait une quantité correspondante d'oxygène : pour 1 volume d'oxygène absorbé, il y aurait 0,85 d'acide carbonique exhalé. Quant à l'azote atmosphérique, il n'interviendrait pas dans le phénomène à cause de son insolubilité dans le sang.

Nous ne comprenons pas comment le phénomène de la respiration, ainsi envisagé, peut être assimilé à celui de la diffusion de deux gaz, à pressions égales, séparés par une membrane. Nous admettrons volontiers que les forces, en vertu desquelles s'effectue le mélange des deux gaz dans cette dernière circonstance, interviennent dans le phénomène de la respiration; mais les conditions nous semblent totalement différentes. Les gaz ne sont pas, tous deux, à l'état élastique; l'un d'eux, l'acide carbonique, est en dissolution dans un liquide, dont l'action doit modifier considérablement le phénomène de diffusion. Le second gaz, qui se trouve de l'autre côté de la paroi perméable, n'est pas de l'oxygène pur; c'est un mélange d'oxygène et d'azote, dans lequel l'oxygène seul n'exerce que le $\frac{1}{5}$ de la force élastique totale. Or, la loi de Graham, lors même qu'elle serait appli-

Digitized by Google

cable au phénomène qui nous occupe, exigerait au moins que l'oxygène fût pur, et qu'il exerçât, à lui seul, une pression égale à celle que l'acide carbonique produit sur l'autre face de la paroi.

Quoi qu'il en soit, comme MM. Brunner et Valentin déclarent eux-mêmes que l'explication qu'ils proposent du phénomène de la respiration n'a pas été déduite de spéculations théoriques, mais qu'ils la regardent comme l'expression exacte des faits, il est facile de la soumettre à une épreuve rigoureuse. Cette théorie suppose, en effet, qu'il existe un rapport constant entre l'acide carbonique dégagé et l'oxygène consommé, et que ce rapport est égal à 0,85.

Pour compléter l'analyse des travaux qui ont été publiés sur les changements chimiques que l'air atmosphérique éprouve par la respiration des animaux, il nous reste à parler des recherches exécutées récemment par M. Marchand, bien que le Mémoire de ce chimiste (*Journal fur praktische Chemie*, tome XLIV, page 1) ait paru longtemps après que nos propres expériences fussent complétement terminées. M. Marchand s'est proposé de décider si, dans l'acte de la respiration, il y avait de l'azote dégagé ou de l'azote absorbé. Il reconnut que, dans toutes ses expériences, il y avait de l'azote exhalé, mais que la proportion en était toujours très-minime. Ainsi, dans dix expériences sur des cochons d'Inde, en désignant par 100 le volume de l'acide carbonique dégagé, les volumes de l'azote exhalé ont été

	0,65
	0,89
	1,11
	0,69
	0,88
	1,38
	0,88
	1,03
	0,91
	0,98
Moyenne.	0,94

Digitized by Google

Trois expériences faites sur un pigeon ont donné, pour l'azote exhalé,

	1,05
	0,78
	0,74
Moyenne.	0,85

Nous n'avons pas parlé, dans ce qui précède, des recherches indirectes qui ont été tentées pour résoudre quelques-uns des problèmes de la respiration, notamment le dégagement ou l'absorption de l'azote.

M. Boussingault soumit, pendant plusieurs jours, une vache et un cheval à une alimentation réglée dont il connaissait rigoureusement la quantité et la composition chimique; il recueillit, pesa et analysa, avec le plus grand soin, toutes les déjections solides et liquides. Il reconnut ainsi qu'une portion notable de l'azote des aliments ne se retrouvait plus dans les déjections, et qu'elle avait dû être évacuée par la perspiration, puisque les animaux étaient soumis seulement à la ration d'entretien, et n'avaient pas augmenté sensiblement de poids. Une expérience faite sur une tourterelle lui donna un résultat semblable. L'azote exhalé ne formait, dans tous les cas, qu'une très-petite fraction du volume de l'acide carbonique dégagé.

Enfin, dans ces derniers temps, M. Baral (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXV, page 129) a appliqué la même méthode d'expérimentation à l'homme; il a également reconnu un dégagement d'azote qui s'élevait environ à $\frac{1}{100}$ du volume de l'acide carbonique produit.

On voit, par l'historique que nous venons de développer, que les expérimentateurs sont loin de s'accorder sur les principaux points du phénomène de la respiration, et que souvent même leurs conclusions sont contradictoires. Nous ne nous arrêterons pas à discuter les procédés qu'ils ont suivis, bien qu'il soit souvent facile d'y indiquer des causes d'erreur qui expliquent la différence des résultats obtenus;

Digitized by Google

nous nous bornerons à présenter une remarque générale qui s'applique à la plupart de ces procédés.

Dans les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur la perspiration, on plaçait les animaux dans un espace limité rempli d'air atmosphérique, et l'on déterminait l'altération que subissait cet air par leur séjour plus ou moins prolongé. D'autres fois, l'animal était placé dans un espace plus rétréci et en communication avec deux gazomètres. L'un des gazomètres renfermait de l'air normal, que l'on faisait passer lentement à travers l'espace dans lequel se trouvait l'animal, et l'on recueillait l'air vicié dans le second gazomètre.

Dans ces deux manières d'opérer, il est essentiel que l'air ne subisse pas une altération notable; car, autrement, la respiration de l'animal aurait lieu dans une atmosphère trop différente de notre atmosphère terrestre; mais si l'air destiné à entretenir la respiration de l'animal ne subit que de petites variations, il est évident que celles-ci deviennent très-difficiles à déterminer exactement, et qu'elles sont trop fortement altérées par les erreurs de l'analyse.

Nos expériences ont été faites par une méthode totalement différente. Nous nous sommes imposé la condition de faire séjourner les animaux pendant très-longtemps, souvent plusieurs jours, dans un volume d'air limité, mais dans des conditions telles, que cet air fût constamment ramené à la composition de l'air normal par le jeu même des appareils. Ainsi, d'un côté, la respiration consommait une quantité considérable d'oxygène et dégageait une grande quantité d'acide carbonique; de l'autre, l'absorption ou le dégagement d'azote se manifestaient par des variations notables de composition que subissait un volume limité d'air, pendant un séjour prolongé de l'animal.

Nous allons décrire succinctement nos appareils.

Notre appareil se compose de trois parties essentielles :

1°. De l'espace dans lequel est renfermé l'animal;

Digitized by Google

2°. D'un condenseur de l'acide carbonique formé dans la respiration ;

3°. D'un appareil qui remplace constamment l'oxygène absorbé.

1°. L'espace qui contient l'animal est formé par une cloche de verre tubulée A, *Pl. III, fig.* 1, de 45 litres environ de capacité, et dont l'ouverture inférieure est mastiquée sur un disque en fonte DD′, muni de deux rainures. Ce disque, dont la *fig.* 2 représente une section transversale, présente une ouverture centrale *ab* assez grande pour que l'on puisse introduire l'animal, et qui se ferme hermétiquement au moyen d'un couvercle boulonné *ef*, avec interposition de mastic au minium. L'animal pose sur un petit plancher à claire-voie, formé par une plaque de tôle *mn* percée d'un grand nombre de trous, et couverte de petites tringles de bois, afin que l'animal ne soit pas en contact immédiat avec le métal qui pourrait le refroidir d'une manière fâcheuse. Ce plancher ayant un diamètre un peu plus petit que l'ouverture, peut y entrer facilement après que l'animal a été lui-même introduit : on le maintient ensuite à l'aide de trois loquets *s*, *s′*, *s″*.

Le couvercle, la plaque de tôle du plancher et la partie intérieure du disque de fonte sont peints au minium pour éviter une absorption de l'oxygène par suite de l'oxydation du métal.

La cloche A est enveloppée d'un manchon en verre BB′DD′, de $0^m,50$ de diamètre, qui est mastiqué dans la seconde rainure du disque de fonte. Ce manchon est rempli d'eau, que l'on peut maintenir à une température constante. Tout l'appareil est supporté par un bâti en charpente.

La tubulure supérieure de la cloche porte une monture métallique, traversée par plusieurs petites tubulures.

Par la première tubulure *fe*, la cloche communique avec un manomètre à mercure *abc* qui donne, à chaque instant, la tension du gaz intérieur.

Digitized by Google

Par les deux tubulures i, i', la cloche communique avec l'appareil condenseur de l'acide carbonique.

Enfin, la quatrième tubulure r sert à l'introduction du gaz oxygène nécessaire à la respiration.

2°. L'appareil condenseur de l'acide carbonique consiste en deux vases C, C′, à deux tubulures, de 3 litres de capacité, et qui communiquent entre eux par leurs tubulures inférieures au moyen d'un long tube de caoutchouc $qq''q'$, recouvert extérieurement de toile, et de 20 millimètres environ de diamètre intérieur. Les tubulures supérieures portent des montures métalliques m, m', qui communiquent avec les deux tubulures ik, $i'k'$ de la cloche, par l'intermédiaire de longs tubes en caoutchouc lm, $l'm'$. Ces tubes, de même que le gros tube $qq''q'$, sont fabriqués avec cette préparation particulière de caoutchouc que l'on appelle dans le commerce *caoutchouc vulcanisé*, et qui est remarquable par sa grande flexibilité.

On met dans les vases C, C′, 3 litres environ d'une dissolution de potasse caustique dont on connaît rigoureusement la composition et le poids.

Les deux pipettes C, C′ sont placées sur des supports mobiles, formés par les cadres en fer $post$, $p'o's't'$ qui sont mis en mouvement par le balancier $\alpha\beta O\alpha'\beta'$, et guidés dans leur marche par les tringles verticales uv, zw, $u'v'$, $z'w'$. Le balancier reçoit un mouvement d'oscillation par la bielle articulée $\gamma\delta\lambda$, d'une petite machine mue par un poids de 200 kilogrammes, et qui marche dix-huit heures sans avoir besoin d'être remontée. Le mouvement de la machine est réglé par un volant à ailettes qui permet d'obtenir la vitesse convenable à l'absorption la plus efficace de l'acide carbonique.

Les pipettes C, C′ reçoivent ainsi, dans le sens vertical, un mouvement d'oscillation dont il est facile de comprendre l'effet. Supposons la pipette C′ au point le plus bas de sa course, et, par suite, la pipette C au point le plus élevé. La pipette C′ sera alors entièrement remplie par la dissolu-

Digitized by Google

tion de potasse, tandis que la pipette C sera remplie d'air, lequel communique librement avec celui de la cloche par l'intermédiaire du tube *iklm*. Donnons maintenant le mouvement inverse : amenons la pipette C au point le plus bas de sa course, et la pipette C′ au point le plus élevé. La potasse passera de C′ en C, et renverra dans la cloche l'air qui remplissait C, et qui a été débarrassé d'acide carbonique par son contact avec la potasse. Une autre portion de l'air de la cloche se rendra dans la pipette C′, et y déposera son acide carbonique. Afin que l'absorption de l'acide carbonique par la potasse se fasse d'une manière plus efficace, on a rempli les deux pipettes de tubes de verre ouverts aux deux bouts; les parois de ces tubes restent mouillées de potasse lorsque les pipettes se vident de la dissolution alcaline, et présentent, par conséquent, une large surface absorbante.

La pipette C′ prend l'air au sommet de la cloche; l'autre C, le prend, au contraire, dans la région inférieure, par le tube *jj′* : de sorte que le jeu de l'appareil détermine non-seulement l'absorption de l'acide carbonique à mesure qu'il se forme par la respiration, mais il produit encore une agitation continuelle de cet air, et tend à lui donner une composition uniforme dans les diverses parties de l'espace A.

3°. L'appareil destiné à fournir constamment l'oxygène nécessaire à la respiration, consiste en trois grands vases de verre N, N′, N″, ayant la forme de ballons compris entre deux tubulures. Les tubulures supérieures portent des montures métalliques à deux petites tubulures munies des robinets *r″* et *r‴*, dont l'une peut communiquer avec la grande cloche où se trouve l'animal, et dont l'autre sert à l'introduction du gaz oxygène. Les tubulures inférieures des ballons sont mastiquées dans des pièces en cuivre à deux branches. L'une de ces branches est verticale; elle porte un robinet R′, et sert à faire écouler le liquide du ballon lorsqu'on veut remplir celui-ci d'oxygène. La seconde

Digitized by Google

branche R′ζ est horizontale ; elle se termine par une tubulure verticale dans laquelle est mastiqué un long tube de verre ξσζ. C'est par ce tube que l'on introduit le liquide destiné à chasser le gaz du ballon.

Les ballons N, N′, N″, que nous appellerons à l'avenir *pipettes à oxygène,* ne communiquent pas directement avec la cloche : un petit flacon laveur M, rempli à moitié d'une dissolution de potasse, est interposé. On peut juger, par le passage des bulles de gaz à travers ce flacon, de la manière dont marche la respiration de l'animal ; souvent même on peut s'en servir pour compter ses pulsations.

Les pipettes à oxygène sont préalablement remplies d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium qui n'exerce, ainsi que nous nous en sommes assurés, qu'un pouvoir dissolvant très-faible, soit sur l'oxygène pur, soit sur l'air atmosphérique. Pour introduire l'oxygène, on met l'appareil qui dégage ce gaz en communication avec la tubulure *r‴* de la pipette ; à mesure que le gaz pénètre dans le ballon, on fait couler la dissolution de chlorure de calcium par le robinet R′. On remplit la pipette sous une pression un peu plus forte que celle de l'atmosphère extérieure ; on laisse ensuite le gaz se mettre en équilibre de température avec l'air ambiant ; on affleure le liquide à un trait de repère ω′ marqué sur la tubulure inférieure de la pipette, après avoir fait sortir une petite portion du gaz pour le mettre en équilibre de force élastique avec l'atmosphère. On note la température du thermomètre T′ dont le réservoir se trouve en contact avec la paroi de la pipette, et la hauteur H du baromètre.

Chaque pipette porte un second repère ω tracé sur la tubulure supérieure ; sa capacité comprise entre les repères ω, ω′ a été déterminée rigoureusement par plusieurs jaugeages.

L'oxygène était préparé en chauffant dans une cornue de verre un mélange de parties égales de chlorate de potasse et

Digitized by Google

de bioxyde de manganèse; le gaz traversait deux flacons laveurs renfermant une dissolution concentrée de potasse, puis deux longs tubes en U remplis de pierre ponce imbibée de la même dissolution. Avant de recueillir le gaz dans les pipettes, on en laissait dégager environ 10 litres pour chasser l'air atmosphérique de l'appareil. On a reconnu d'ailleurs, par plusieurs expériences faites avec le plus grand soin, que l'oxygène, ainsi préparé, ne renfermait pas de traces de gaz étranger.

A côté de la grande cloche se trouve disposé un appareil manométrique $a'b'c'd'$ que l'on peut mettre en communication avec elle au moyen du tube latéral $r'hg$ embranché sur la tubulure i : des robinets r', r'' permettent d'établir et d'intercepter la communication. A l'aide de ce manomètre on peut, à un moment quelconque de l'expérience, puiser dans la cloche un volume déterminé d'air pour le soumettre à l'analyse.

Après cette description sommaire de notre appareil, il est facile de comprendre notre manière d'opérer.

Les trois pipettes sont préalablement remplies d'oxygène, sous la pression atmosphérique H et à la température θ. Si V représente la capacité en centimètres cubes de l'une de ces pipettes entre les repères ω, ω', le poids de l'oxygène qu'elle fournira à la cloche pendant l'expérience sera :

$$V.\ 0^{gr},0014298 \cdot \frac{1}{1+0,00367.\theta} \cdot \frac{H-f}{760},$$

f étant la tension de la vapeur d'eau abandonnée au gaz par la dissolution de chlorure de calcium. Nous avons reconnu, par une série d'expériences directes, qu'entre les limites de température où nous avons opéré, la tension f était égale à 0,47 de la force élastique de la vapeur donnée par l'eau pure à la même température.

On verse également dans les pipettes C, C′ la potasse caustique, et l'on en détermine rigoureusement le poids, en

Digitized by Google

pesant les pipettes elles-mêmes, après les avoir démastiquées et séparées de l'appareil. Comme on connaît exactement, par des analyses préliminaires, la composition de cette potasse, il est facile de calculer la quantité d'acide carbonique que la dissolution alcaline renferme au commencement de l'expérience.

Le tube de plomb $r''\mu$ est mastiqué en μ sur le tube $\mu\mu'$ du petit flacon laveur M; ce flacon a été préalablement rempli d'oxygène pur, mais son tube $\nu\nu'$ ne communique pas encore avec la tubulure r de la cloche.

On introduit alors dans la cloche dont les parois ont été préalablement mouillées, l'animal et, s'il y a lieu, l'eau et les aliments qui doivent servir à sa nourriture. On met en place le couvercle inférieur, mais sans le fermer hermétiquement; puis, à l'aide d'une forte machine pneumatique qui communique avec la tubulure r, on détermine dans la cloche un fort courant d'air pour empêcher l'air intérieur d'être vicié par la respiration avant le commencement de l'expérience. Pendant ce temps, on donne à l'eau qui remplit le manchon une température supérieure de quelques degrés à la température ambiante, afin qu'il soit plus facile de la rendre à peu près stationnaire pendant l'expérience, la chaleur dégagée par l'animal compensant la déperdition extérieure. On peut d'ailleurs rendre cette température absolument stationnaire, si on le juge convenable.

Toutes ces dispositions prises, on serre les écrous du couvercle inférieur pour fermer hermétiquement la cloche; on laisse encore ouvert, pendant quelques minutes, le robinet r, après que la machine pneumatique en a été détachée, puis on le ferme après avoir noté la hauteur du baromètre et la température de l'eau du manchon qui a été continuellement agitée pendant ces préparatifs; enfin on met en mouvement l'appareil à potasse, on mastique le tube $r''\mu$ de l'une des pipettes sur le tube $\mu\mu'$ du flacon laveur, et l'on ouvre de nouveau le robinet r de la cloche.

Digitized by Google

Supposons, pour plus de simplicité, que la respiration de l'animal consiste uniquement dans une absorption d'oxygène et en un dégagement d'acide carbonique. Il est clair qu'à mesure que l'oxygène de la cloche sera absorbé par l'animal, et que l'acide carbonique formé dans la perspiration se dissoudra dans la potasse des pipettes C, C′, la force élastique du gaz intérieur diminuera; et, si la cloche communique librement avec la pipette N remplie d'oxygène, le gaz absorbé sera immédiatement remplacé par une quantité équivalente de gaz oxygène, pourvu que l'on verse constamment dans cette pipette, par le tube $\xi\zeta$, la quantité de dissolution de chlorure de calcium qui maintient la force élastique du gaz intérieur égale à celle de l'atmosphère.

Cette addition successive de chlorure de calcium se fait immédiatement, et sans que l'on ait besoin de s'en occuper, à l'aide de la disposition suivante : On mastique, sur le tube $\xi\zeta$ de la pipette à oxygène, un tube de plomb $y\xi$ qui communique avec le réservoir supérieur PQP′Q′, rempli d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium, le niveau xx' de cette dissolution étant maintenu à très-peu près constant au moyen des ballons O, O′, O″ remplis de la même dissolution, et dont on comprend facilement le jeu à l'inspection de la figure.

A mesure que le gaz se raréfie dans la pipette à oxygène, la colonne liquide s'abaisse dans le tube $\xi\zeta$; l'air contenu dans ce tube diminue de force élastique, par suite, la dissolution de chlorure de calcium descend du réservoir PQP′Q′ dans la pipette N. Cependant la force élastique du gaz de la cloche ne reste pas absolument constante pendant tout le temps que la pipette fournit de l'oxygène; elle diminue à mesure que la pipette se remplit, si la dissolution de chlorure de calcium était de niveau dans la pipette et dans le tube latéral au moment où on a mastiqué le tube de plomb $y\xi$ dans la tubulure ξ. La constance absolue de la

Digitized by Google

pression n'était pas nécessaire dans nos expériences, parce que nous ne pouvions pas empêcher la variation barométrique ; d'ailleurs, en ne mastiquant le tube de plomb dans la tubulure ξ, qu'après avoir amené dans la pipette une différence de niveau déterminée, une fois pour toutes, par quelques tâtonnements préliminaires, nous parvenions facilement à restreindre entre d'étroites limites les variations de pression dans la cloche. Nous maintenions d'ailleurs à dessein un excès de pression d'environ 1 centimètre, pour compenser la petite quantité d'acide carbonique qui restait constamment dans la cloche, malgré le jeu de l'appareil absorbant.

Lorsque la pipette N s'est remplie de chlorure de calcium jusqu'au repère ω, on ferme le robinet r'' et le robinet r de la cloche ; on démastique le tube de plomb $r''\mu$ en μ, et on ajuste à sa place le tube correspondant d'une des autres pipettes. On amène le niveau de la dissolution de chlorure à la hauteur convenable dans le tube latéral $\xi\zeta$, pour ne pas avoir de variation notable de pression dans la cloche pendant que la nouvelle pipette fournira l'oxygène ; on mastique le tube de plomb $y\xi$ dans la tubulure ζ de cette pipette ; enfin, on ouvre les robinets r'' et r.

On ne termine jamais une expérience que lorsque la dernière pipette a fourni tout son oxygène ; mais on commence les préparatifs une heure à l'avance. A cet effet, on ramène d'abord la température de l'eau du manchon à être rigoureusement la même qu'au commencement, on la maintient stationnaire à ce point, et on l'agite fréquemment. Lorsqu'il ne reste plus que 300 à 400 centimètres cubes d'oxygène dans la pipette, on démastique le tube en ξ, on fait couler librement la dissolution jusqu'à ce que celle-ci affleure au repère ω ; puis on ferme le robinet r''.

Il existe alors dans la cloche un excès de pression de 2 à 3 centimètres, et pendant que l'oxygène correspondant à cet excès se consomme, on a le temps nécessaire pour se mettre

Digitized by Google

en mesure de terminer convenablement l'expérience. On attend, pour cela, le moment où la pression dans l'intérieur de la cloche est devenue rigoureusement égale à la force élastique de l'air extérieur, telle qu'elle était au commencement de l'expérience. Comme, généralement, le baromètre a changé, il faut conserver au gaz intérieur une différence de pression égale à cette variation du baromètre. Cependant, cette condition n'est pas toujours facile à remplir rigoureusement, surtout lorsque la respiration de l'animal est énergique; on notait alors la force élastique intérieure, et l'on faisait entrer, dans le calcul de l'expérience, la différence entre la pression finale et la pression initiale.

D'un autre côté, on a ajusté l'appareil manométrique $a'b'c'd'$ au tube $r'hg$ de la cloche; et, lorsqu'il reste encore un petit excès de pression dans celle-ci, on fait couler le mercure du manomètre pour remplir le tube $a'b'$ de gaz; on renvoie de nouveau ce gaz dans la cloche, et on répète ces opérations un certain nombre de fois jusqu'à ce que le gaz intérieur ait acquis la force élastique normale: on fait alors la prise de gaz définitive; on ferme le robinet r'', et on arrête le mouvement des pipettes.

Les prises de gaz ne doivent pas être faites à un moment quelconque, à cause de la position particulière du tube d'embranchement hg; il faut les faire pendant le mouvement ascendant de la pipette C, qui aspire alors le gaz de la cloche. Si l'on recueillait le gaz pendant le mouvement descendant de cette pipette, il arriverait dans le manomètre du gaz dépouillé d'acide carbonique, qui n'aurait pas la composition de celui qui remplit la cloche.

On détachait alors les pipettes et on les reportait sur la balance; l'augmentation de poids qu'elles avaient subie représentait, à la fois, l'acide carbonique absorbé et l'eau hygrométrique fixée par la dissolution concentrée de potasse. On déterminait rigoureusement, par une analyse

Digitized by Google

directe, la quantité d'acide carbonique contenue dans cette potasse; et, retranchant l'acide carbonique contenu dans la potasse primitive, on avait le poids de l'acide carbonique absorbé. Ce poids, ajouté à celui de la petite quantité de ce gaz qui restait encore dans la cloche au moment où l'on a arrêté l'expérience, et qui était donné par l'analyse du gaz recueilli dans l'appareil manométrique $a'b'c'd'$, donnait le poids total de l'acide carbonique produit par la perspiration.

Si, dans l'acte de la perspiration, il ne s'absorbe que de l'oxygène, et s'il ne se dégage que de l'acide carbonique, il est clair que l'air de la cloche doit présenter encore, à la fin de l'expérience, la composition de l'air normal. Si, au contraire, il y a dégagement d'azote, nous devons trouver dans cet air une quantité d'oxygène moins considérable. Il est donc facile de décider la question, en faisant l'analyse du gaz recueilli à la fin de l'expérience; on peut, de même, reconnaître s'il s'est dégagé d'autres gaz que l'acide carbonique et l'azote.

L'animal séjournait dans la cloche jusqu'à ce qu'il eût consommé de 65 à 150 litres d'oxygène. Les chiens consommaient cette quantité en douze ou vingt heures; les lapins, poules, canards et autres animaux restaient deux, trois et quatre jours. Lorsque l'animal ne devait pas rester plus de quinze heures, on ne lui mettait pas de nourriture dans la cloche; on lui faisait faire un repas copieux peu de temps avant de le soumettre à l'expérience. Mais, s'il devait rester plus longtemps, on mettait dans la cloche sa ration de nourriture ordinaire. On s'est d'ailleurs assuré, par des expériences directes, que l'air n'était pas altéré par le séjour des aliments, ni même par les excréments rendus par les animaux.

Les animaux sur lesquels nous avons expérimenté, n'ont paru éprouver aucun malaise, même après un séjour de trois et quatre jours; ils ont consommé leur ration de

Digitized by Google

nourriture comme ils l'auraient fait dans leurs conditions normales. Ce seul fait démontre qu'il ne peut pas y avoir dans la perspiration un dégagement d'azote aussi considérable que quelques physiciens l'ont annoncé; car, dans ce cas, l'atmosphère de la cloche ne renfermerait que de l'azote au bout d'un temps très-court, et les animaux seraient bientôt asphyxiés.

Les urines de l'animal se rendaient dans l'espace compris entre le petit plancher *mn*, *fig.* 2, et le couvercle *ef*.

L'animal était pesé, de nouveau, au sortir de la cloche; on pesait de même ce qui restait de nourriture et d'eau, afin de connaître la quantité qui en avait été consommée.

Voyons maintenant comment, avec ces éléments, on peut calculer les effets produits dans la perspiration.

Le volume d'air primitif est égal à celui qui est contenu dans la cloche, dans les pipettes à potasse et dans les tubes de communication, diminué du volume déplacé par l'animal et par les aliments qu'on a introduits dans la cloche. L'appréciation de ce dernier volume présente nécessairement quelque incertitude. Nous avons admis que le volume déplacé par l'animal était égal au volume de l'eau qui pèse le même poids. Cette hypothèse ne doit pas s'éloigner beaucoup de la vérité: elle nous paraît s'en rapprocher davantage que celle qui consisterait à prendre le volume de l'eau déplacée par l'animal après la mort, et qui est toujours notablement plus faible parce que les cavités aériennes se sont alors affaissées. Il nous paraît d'ailleurs nécessaire de regarder, comme appartenant au volume de l'animal, l'air qui se trouve dans son intérieur et qui doit avoir sensiblement le même volume et la même composition au commencement et à la fin de l'expérience; car, dans nos expériences, ainsi que nous le verrons bientôt, la perspiration a lieu dans une atmosphère qui change très-peu de composition.

Nous avons fait la même hypothèse pour les aliments,

Digitized by Google

lorsque leur densité ne pouvait pas être déterminée avec précision.

Il est d'ailleurs facile de se convaincre que la petite erreur que l'on peut commettre sur l'évaluation du volume de l'animal et des aliments n'exerce son influence que sur la quantité d'oxygène consommé et sur celle de l'acide carbonique produit; et cette influence n'est pas sensible sur le poids considérable de ces gaz qu'on obtient dans une expérience longtemps prolongée. La seule erreur qui porte sur l'azote tient à ce que nous supposons que le volume de l'animal et celui des aliments sont encore les mêmes à la fin qu'au commencement de l'expérience. Or, cette erreur ne peut être que très-minime, car la plus grande partie des aliments consommés se retrouve sensiblement avec le même volume, dans les excrétions et dans les organes de l'animal, et ce n'est que la partie disparue dans l'acide carbonique exhalé qui en diminue le volume. Dans tous les cas, cette dernière partie occupe un volume moindre que l'eau qui aurait le même poids que l'acide carbonique, et il est facile de reconnaître qu'avec le grand volume d'air sur lequel nous opérons, l'erreur sur l'évaluation de l'azote peut être regardée comme très-petite.

Soient donc V le volume, en litres, de l'air qui se trouve dans la cloche au commencement de l'expérience, H sa force élastique, t sa température, f la tension de la vapeur d'eau à saturation pour cette température; le poids de l'oxygène qu'il renferme est

$$p_0 = 0,2095 . 1^{gr},4298 . V . \frac{1}{1 + 0,00367 . t} \frac{H - f}{760};$$

le poids de l'azote

$$p'_0 = 0,7905 . 1^{gr},2562 . V . \frac{1}{1 + 0,00367 . t} . \frac{H - f}{760}.$$

A la fin de l'expérience, V, H, t et f restent les mêmes; supposons que l'analyse du gaz recueilli dans le tube $a' b'$ ait montré que ce gaz renferme, en volume:

Digitized by Google

$\frac{1}{c}$ d'acide carbonique ;

$\frac{1}{b}$ d'oxygène ;

$\frac{1}{a}$ d'azote.

Nous négligeons, pour le moment, la petite quantité de gaz étrangers qui peut s'y trouver ; nous aurons, pour le poids de l'acide carbonique contenu dans la cloche,

$$p'' = \frac{1}{c} \cdot 1^{gr},9774 . V \cdot \frac{1}{1 + 0,00367 . t} \cdot \frac{H - f}{760},$$

pour le poids de l'oxygène

$$p_1 = \frac{1}{b} \cdot 1^{gr},4298 . V \cdot \frac{1}{1 + 0,00367 . t} \cdot \frac{H - f}{760},$$

pour le poids de l'azote

$$p'_1 = \frac{1}{a} \cdot 1^{gr},2562 . V \cdot \frac{1}{1 + 0,00367 . t} \cdot \frac{H - f}{760}.$$

$(p_1 - p_0)$ représente donc le poids d'oxygène que la cloche renferme, à la fin de l'expérience, en plus ou en moins qu'au commencement ; si on l'ajoute au poids P de l'oxygène fourni par les pipettes N, N′, N″, on aura le poids total d'oxygène consommé par la perspiration.

En ajoutant le poids p'' au poids Q de l'acide carbonique condensé dans les pipettes à potasse, on aura la quantité totale d'acide carbonique produit.

Enfin $(p_1 - p'_0)$ représentera le poids d'azote exhalé ou absorbé.

Pour étudier la respiration des petits animaux tels que les batraciens et les insectes, nous avons employé un petit appareil fondé sur les mêmes principes que le grand, et représenté *Pl. IV, fig.* 2.

L'espace dans lequel l'animal est placé se compose d'un tube de verre AA′, plus ou moins large, suivant la grosseur

Digitized by Google

de l'animal et l'activité de sa perspiration. Aux deux extrémités de ce tube sont mastiquées deux montures en laiton A, A' munies de tubulures *kn* et *k' n'*. Sur des embranchements latéraux de ces tubulures sont soudés des tubes de plomb *npq*, *n' p' q'*, qui communiquent avec l'appareil *xyz* destiné à absorber l'acide carbonique. Sur les branches verticales des tubulures *kn*, *k' n'* sont soudés d'autres tubes de plomb, dont l'un, *lm*, communique avec l'appareil manométrique B qui fournit l'oxygène nécessaire à la respiration, et dont l'autre, *l' m'*, communique avec un second manomètre C, à l'aide duquel on mesure la force élastique du gaz intérieur. Ce dernier manomètre sert aussi, à la fin de l'expérience, à recueillir la quantité d'air vicié nécessaire pour l'analyse. Les manomètres B et C peuvent être adaptés facilement à l'appareil ou en être séparés, au moyen des ajutages à robinets *m*, *m'*.

L'appareil *xyz*, destiné à l'absorption de l'acide carbonique, se compose de deux boules *y*, *z* communiquant par un tube inférieur; elles se terminent, à leur partie supérieure, par des tubes recourbés *yx*, *zx* que l'on attache aux tubes de plomb *pq*, *p' q'* à l'aide de tubulures en caoutchouc très-flexibles. On a introduit dans cet appareil de la potasse caustique en quantité telle, qu'elle remplit entièrement l'une des boules. La proportion d'acide carbonique contenue dans cette potasse a été déterminée rigoureusement par des analyses préliminaires. La flexibilité des tubulures de caoutchouc permet de faire basculer l'appareil autour des petites branches *xq*, *x' q'* qui sont en ligne droite, et forment l'axe d'oscillation. Lorsque la boule *y* est au point le plus bas de sa course, elle est remplie entièrement de potasse, tandis que la boule *z* ne contient que de l'air qui s'y débarrasse de son acide carbonique. Si l'on amène, au contraire, la boule *y* au point le plus haut de son excursion, la potasse qu'elle renfermait dans sa première position descendra dans la boule *z*, dont elle chassera

Digitized by Google

l'air purifié dans l'espace AA′, et la boule *y* se remplira d'air vicié. Pour donner commodément ce mouvement d'oscillation à l'appareil, on attache au tube inférieur qui relie les deux boules deux petits cordons fixés immédiatement au-dessous des boules; l'un de ces cordons passe sur une poulie *t*, et soutient un contre-poids R qui, à lui seul, amène la boule *z* au point le plus élevé de sa course. L'autre cordon, après avoir passé sur les poulies *s*, *s′*, vient s'attacher à l'extrémité d'une petite bielle montée sur un des axes de rotation de la petite machine qui fait marcher les pipettes à potasse de notre grand appareil, *Pl. III.* L'appareil *xyz* est maintenu plongé dans un bain V, dont on peut rendre la température invariable.

L'appareil manométrique B se compose d'une pipette *fg* de 150 centimètres cubes environ de capacité, et d'un tube droit ouvert *ih*. On a déterminé exactement la capacité de la pipette jusqu'au repère α. On remplit cette pipette d'oxygène par la tubulure *fm*, et l'on amène le niveau du mercure en α, en versant du mercure dans le tube *ih*; on mesure exactement la force élastique du gaz, et l'on note sa température. On calcule, d'après ces éléments, le poids de l'oxygène. On a déterminé exactement le poids de l'eau qui remplit le tube AA′ et tous ses appendices; on connaît donc sa capacité, de laquelle il faut retrancher le volume de l'animal pour avoir le volume primitif de l'air atmosphérique au milieu duquel se fait l'expérience.

L'une des montures A étant démastiquée, on introduit l'animal dans le tube AA′; on adapte de nouveau la monture A, dans laquelle le tube de verre AA′ entre jusqu'à refus, afin que la capacité de l'appareil soit toujours la même. On assujettit le tube AA′ dans une caisse V remplie d'eau que l'on maintient stationnaire pendant toute l'expérience, et, avant d'adapter les autres parties de l'appareil, on y fait passer un courant rapide d'air atmosphérique au moyen d'une machine pneumatique que l'on met

Digitized by Google

en communication avec un des tubes de plomb pq, $p'q'$, tandis que l'autre reste ouvert. Le tube AA' étant rempli d'air pur, on adapte le manomètre C dont le mercure, de niveau dans les deux branches, affleure au repère 6; on attache, au moyen des tubulures en caoutchouc, l'appareil xyz aux tubes pq, $p'q'$, et l'on met cet appareil en mouvement.

A mesure que l'acide carbonique produit par la perspiration s'absorbe dans la dissolution de potasse, la force élastique de l'air diminue dans l'appareil. On lui donne sa valeur primitive en y faisant entrer une petite quantité d'oxygène de la pipette B. Dans les expériences faites avec ce petit appareil, l'oxygène n'arrivait pas naturellement et d'une manière continue, par le jeu de l'appareil; l'opérateur le fournissait à mesure que la force élastique diminuait, et il arrivait ainsi facilement à maintenir la pression constante à quelques millimètres près.

Lorsque la première pipette d'oxygène était consommée, on en fournissait souvent une deuxième et quelquefois une troisième, et l'on terminait toujours l'expérience lorsque la dernière pipette avait fourni tout son gaz. Une heure avant la fin de l'expérience, on ramenait rigoureusement la température de l'eau des deux vases V et U au degré où elle se trouvait au commencement; on faisait passer dans le tube AA' la petite portion d'oxygène qui restait encore dans la pipette, afin d'obtenir un excès de pression qui donnât le temps de préparer les dernières observations. On faisait couler plusieurs fois le mercure du manomètre C, afin de remplir le tube ab d'air que l'on renvoyait de nouveau dans l'espace AA', en reversant dans le tube cd le mercure écoulé. Enfin, lorsque la force élastique de l'air intérieur était devenue sensiblement égale à celle qui avait lieu au commencement, on faisait la prise d'air définitive en ayant soin de choisir le moment où la boule z de l'appareil absorbant était dans sa période ascendante; on arrêtait le

Digitized by Google

mouvement de l'appareil *xyz* en décrochant le cordon *ss'u* qui l'attachait à la machine; enfin, on sortait l'animal.

La potasse de l'appareil *xyz* était soumise à une analyse qui donnait la quantité d'acide carbonique qu'elle avait absorbée; on faisait de même l'analyse du gaz recueilli dans le manomètre C, et l'on avait ainsi tous les éléments nécessaires pour calculer les effets de la perspiration.

Nous avons aussi étudié, dans le même appareil, la perspiration de quelques petits oiseaux; nous remplacions alors la pipette B par une autre, de 1 litre de capacité, et dont nous déplacions le gaz par une dissolution concentrée de chlorure de calcium.

Dosage de l'acide carbonique absorbé par la dissolution de potasse.

Pour faire ce dosage, on se servait de l'appareil représenté *Pl. IV, fig.* 1. La potasse renfermée dans les pipettes C, C', *Pl. III,* était pesée exactement à la fin de l'expérience; on en remplissait, jusqu'au repère α, une pipette B, *Pl. IV, fig.* 1, portant un robinet *r*. On déterminait rigoureusement le poids de cette potasse, et l'on engageait le tube inférieur de la pipette dans le bouchon du ballon A renfermant de l'acide sulfurique étendu, en quantité suffisante pour saturer la potasse. Le ballon A communiquait avec un large tube D renfermant une petite quantité d'acide sulfurique concentré; puis, successivement:

1°. Avec un tube E rempli de ponce sulfurique;

2°. Avec un appareil à boules F renfermant une dissolution concentrée de potasse;

3°. Avec un tube G contenant de la pierre ponce imbibée d'une dissolution concentrée de potasse;

4°. Avec un tube H rempli de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique concentré;

5°. Avec un second tube I à ponce sulfurique;

6°. Avec un flacon aspirateur V, muni d'un robinet *s* par

Digitized by Google

lequel le flacon peut communiquer avec l'air extérieur. Le tube I reste constamment attaché au flacon; il a pour but d'empêcher l'air humide de ce flacon de déposer de l'eau dans le tube H.

Enfin, on adapte à la pipette B, au moyen d'un caoutchouc *u*, un tube C rempli de pierre ponce imbibée de potasse destinée à absorber l'acide carbonique de l'air que l'on fait passer à travers l'appareil à la fin de l'opération.

L'appareil étant disposé, on ouvre le robinet *s* du flacon aspirateur, et l'on tourne avec précaution le robinet *r* de la pipette pour faire tomber lentement la dissolution de potasse dans la liqueur acide du ballon A. Pour opérer rapidement le mélange de ces liqueurs, on chauffe le ballon A avec une lampe à alcool; ce mélange se fait d'ailleurs facilement, parce qu'on a eu soin de mettre dans le ballon une dissolution acide d'une densité un peu plus faible que celle de la liqueur alcaline. On règle le dégagement de l'acide carbonique, soit en ouvrant plus ou moins le robinet *r* de la pipette, soit à l'aide du flacon aspirateur dont on fait couler l'eau plus ou moins rapidement, après avoir fermé le robinet *r* et ouvert convenablement le robinet *x*.

Lorsque la pipette B est entièrement vidée, on détache le caoutchouc et l'on fait descendre dans cette pipette de l'eau pure pour laver ses parois. On adapte ensuite de nouveau le tube, et l'on porte l'eau du ballon à l'ébullition pour dégager le reste de l'acide carbonique. Enfin, à l'aide du flacon aspirateur, on détermine un courant d'air à travers l'appareil pour amener les dernières traces d'acide carbonique dans les tubes destinés à le condenser. L'augmentation de poids subie par les tubes C, D et E donne l'acide carbonique. On pèse ces trois tubes ensemble, en ayant soin de prendre pour contre-poids trois tubes semblables, disposés de la même manière, et déplaçant sensiblement le même volume d'air.

En faisant une expérience, dans des conditions identiques,

Digitized by Google

sur un poids déterminé de carbonate de soude pur, on s'est assuré de l'exactitude parfaite de ce procédé d'analyse.

La potasse primitive que l'on mettait dans les pipettes C, C′ était analysée de la même manière.

Un appareil de plus petites dimensions servait à l'analyse de la potasse dans les expériences faites sur les petits animaux; mais on introduisait alors la dissolution entière de potasse contenue dans l'appareil *xyz* de la *fig.* 2.

ANALYSE DES GAZ.

Nos recherches sur la perspiration des animaux exigeaient un grand nombre d'analyses de gaz; il était nécessaire non-seulement que ces analyses fussent très-précises, mais encore qu'elles se fissent rapidement; sans quoi notre travail aurait exigé plus de temps que nous ne pouvions y consacrer. En étudiant les divers procédés qui ont été proposés jusqu'à ce jour, nous n'avons pas tardé à reconnaître leur insuffisance et la nécessité d'en rechercher de nouveaux. Nous avons été conduits à construire un appareil eudiométrique, qui nous permet d'apporter dans ces analyses une précision à laquelle on n'était pas encore parvenu, bien que les opérations soient des plus simples et s'exécutent en très-peu de temps.

Pour faire comprendre les principes sur lesquels notre méthode d'analyse est fondée, il nous paraît nécessaire de rappeler brièvement la manière dont les chimistes opéraient avant nous. Nous supposerons qu'il s'agit d'analyser un mélange d'air atmosphérique et d'acide carbonique.

On mesure un certain volume de ce mélange sur le mercure dans une cloche divisée. Afin d'être plus sûr du degré d'humidité du gaz, on a soin de laisser légèrement humides les parois de la cloche pour que le gaz soit saturé d'humidité.

Une première difficulté se présente: Quelle est la température du gaz, et quelle est sa force élastique? On suppose, le plus souvent, que cette température est celle de l'air am-

Digitized by Google

biant ou celle du mercure de la cuve. Quand on opère plus exactement, on place un thermomètre tout près de la cloche; mais alors il faut attendre longtemps pour être sûr que le thermomètre indique une température égale à celle du gaz, et encore n'en a-t-on jamais la certitude complète. Quant à la pression, on l'évalue par la hauteur du mercure soulevé, que l'on apprécie ordinairement d'une manière assez grossière, mais que l'on peut mesurer exactement à l'aide d'un cathétomètre et d'une vis à deux pointes, dont on affleure la pointe inférieure au mercure de la cuve (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome IV, page 16).

Pour absorber l'acide carbonique, on introduit dans la cloche une petite quantité d'une dissolution concentrée de potasse caustique, et l'on agite : l'acide carbonique est absorbé, et l'on en détermine la proportion en mesurant de nouveau le volume gazeux. Ici, il se présente des difficultés bien plus grandes que dans la mesure primitive du gaz. On rencontre d'abord la même incertitude dans l'évaluation de la température du gaz; mais, en outre, il est difficile de décider quel est son état de saturation, en présence de la dissolution de potasse. La mesure du volume du gaz présente beaucoup d'incertitude, parce que le ménisque du liquide soulevé a changé complétement de forme, et que les parois de la cloche sont mouillées par une liqueur visqueuse qui peut en changer sensiblement le diamètre. La pression s'évalue elle-même dans des conditions très-différentes de celles qui existaient lors de la première mesure, parce que les actions capillaires se sont considérablement modifiées.

Plusieurs chimistes ont cherché à éluder ces difficultés en opérant de la manière suivante : Pour absorber l'acide carbonique, ils se servent d'une petite boule de potasse caustique fixée à l'extrémité d'un fil de platine, qu'ils introduisent dans la cloche à travers le mercure. La boule de potasse doit rester très-longtemps dans la cloche; car elle doit absorber non-seulement l'acide carbonique du gaz,

Digitized by Google

mais encore se combiner avec toute l'eau qui existe en vapeur dans le gaz ou sur les parois de la cloche, de manière à dessécher complétement ce gaz; car, autrement, il serait impossible d'apprécier son état de saturation. Cette absorption demande beaucoup de temps; souvent, après vingt-quatre heures, elle n'est pas encore complète. Pour s'en assurer, on retire la boule par le fil de platine qui sort de la cloche; on mesure le volume du gaz, puis on y introduit de nouveau la potasse qu'on laisse séjourner pendant douze heures au moins, afin de reconnaître s'il ne se fait pas une nouvelle absorption.

L'acide carbonique étant absorbé, il faut déterminer la proportion d'oxygène qui se trouve dans le gaz restant. On y arrive par deux moyens : par la combustion du gaz avec de l'hydrogène, ou en faisant absorber l'oxygène par un corps qui se combine avec lui, soit à la température ordinaire, soit à une température plus élevée.

L'eudiomètre à gaz hydrogène consistait primitivement en deux tubes séparés : l'un de ces tubes était divisé; il servait à mesurer les gaz avant et après l'inflammation; le second tube, à parois épaisses, était muni d'une garniture métallique qui permettait d'y faire passer une étincelle électrique. L'air à analyser et le gaz hydrogène destiné à opérer la combustion de l'oxygène étaient mesurés dans le premier tube, puis introduits à travers le liquide dans le tube à combustion. Après la combustion opérée par l'étincelle électrique, on transvasait de nouveau le gaz, dans le tube gradué, à travers le liquide de la cuve, et l'on mesurait le volume du gaz restant. Ces transvasements peuvent occasionner des pertes de gaz; on a beaucoup perfectionné ce procédé en faisant les mesures et la combustion des gaz dans un même tube divisé; mais il reste toujours, sur l'évaluation exacte de la température, les incertitudes que nous avons signalées plus haut, et l'opération demande beaucoup de temps.

Digitized by Google

Les substances qui ont été employées jusqu'ici pour absorber l'oxygène, sont :

Le phosphore ;

Les sulfures alcalins ;

Une dissolution de sulfate de protoxyde de fer saturée de deutoxyde d'azote ;

De l'hydrate de protoxyde de fer en suspension dans une liqueur alcaline ;

Le protochlorure de cuivre dissous dans l'ammoniaque ;

Le sulfite de protoxyde de cuivre ammoniacal.

Lorsqu'on emploie le phosphore, on opère de la même manière que pour absorber l'acide carbonique avec la boule de potasse. On rencontre les mêmes incertitudes, et l'absorption de l'oxygène ne se fait que très-lentement. Si la température ambiante est inférieure à 10 degrés, l'absorption n'est souvent pas complète après plusieurs jours ; elle marche plus rapidement si l'on place le tube au soleil, ou si la température est élevée.

Quand on employait les dissolvants liquides, ou l'hydrate de protoxyde de fer en suspension dans une dissolution alcaline, on introduisait une certaine quantité de la liqueur absorbante dans le tube gradué ; on agitait, et l'on attendait le moment où le volume du gaz n'éprouvait plus de variations. Il est clair que, dans cette manière d'opérer, on rencontrait les mêmes erreurs que pour l'absorption de l'acide carbonique par la dissolution de potasse. Les incertitudes sont beaucoup plus grandes encore quand on emploie des liqueurs qui peuvent abandonner des gaz, telles que la dissolution de sulfate de protoxyde de fer saturée de deutoxyde d'azote, ou le protochlorure de cuivre dissous dans l'ammoniaque.

Le point de départ de nos recherches étant ainsi nettement posé, nous allons décrire l'appareil auquel nous nous sommes arrêtés, et les moyens que nous employons pour

Digitized by Google

éviter les causes d'incertitude qui se présentent dans les anciens procédés.

Notre appareil eudiométrique, *Pl. IV, fig.* 3, 4, 5 et 6, se compose de deux parties, que l'on peut réunir et séparer à volonté. La première, le *mesureur,* sert à mesurer le gaz dans des conditions déterminées de température et d'humidité; dans la seconde, on soumet le gaz aux divers réactifs absorbants : nous lui donnons, à cause de cela, le nom de *tube laboratoire.*

Le mesureur se compose d'un tube, *ab*, *fig.* 3 et 4, de 15 à 20 millimètres de diamètre intérieur, divisé en millimètres, et terminé en haut par un tube capillaire recourbé *ahr.* L'extrémité inférieure de ce tube est mastiquée dans une pièce en fonte NN′, à deux tubulures *b*, *c*, et munie d'un robinet R. Dans la seconde tubulure *c*, est mastiqué un tube droit *cd*, ouvert aux deux bouts, de même diamètre que le tube *ab*, et divisé également en millimètres. Le robinet R est à trois voies, comme le montre la *fig.* 7, qui en présente une section transversale : on peut ainsi établir, à volonté, les communications entre les deux tubes *ab*, *cd*, ou faire communiquer seulement avec l'extérieur l'un ou l'autre de ces tubes.

L'ensemble des deux tubes et de la pièce en fonte forme un appareil manométrique renfermé dans un manchon de verre cylindrique MM′NN′ rempli d'eau, que l'on maintient à une température constante pendant toute la durée d'une analyse. La température est donnée par un thermomètre T. L'appareil manométrique est fixé sur un support en fonte ZZ′ muni de vis calantes. Les tubes *ab*, *cd*, doivent être parfaitement verticaux : on les met d'abord à peu près dans cette position au moment où on les mastique dans les tubulures, et l'on achève de rendre la verticalité rigoureuse, à l'aide des vis calantes.

Le tube laboratoire se compose d'une cloche de verre *gf*, ouverte par le bas et terminée en haut par un tube capil-

Digitized by Google

laire recourbé *fer'*. Cette cloche plonge dans une petite cuve à mercure V, en fonte de fer, dont les *fig.* 5 et 6 donnent une idée exacte. La cuve V est fixée sur une tablette *mm'*, que l'on peut faire monter à volonté le long du support vertical ZZ' au moyen de la crémaillère *ii'*, qui engrène avec le pignon denté *o*, mis en mouvement à l'aide de la manivelle I. Le rochet *q* permet d'arrêter la crémaillère, et, par suite, la cuve V dans l'une quelconque de ses positions. Le contre-poids *p*, fixé au rochet, facilite la manœuvre; suivant qu'on le tourne d'un côté ou de l'autre, le rochet engrène ou n'engrène pas avec le pignon.

Les extrémités des tubes capillaires qui terminent le laboratoire et le mesureur sont mastiquées dans deux petits robinets en acier *r*, *r'*, dont les extrémités rodées s'ajustent exactement l'une sur l'autre. Les *fig.* 8 et 9 donnent une idée exacte de la disposition de ces pièces d'acier. Il est important que ce mastiquage soit fait avec le plus grand soin, afin qu'il ne reste pas le moindre vide entre les tubes de verre et les tubulures d'acier; car il s'arrêterait dans ces vides des volumes variables de gaz, et l'analyse perdrait de sa précision. Pour ajuster exactement les deux robinets l'un sur l'autre, on enduit l'une des surfaces *ab*, *fig.* 8, de caoutchouc fondu, et on serre les deux pièces l'une contre l'autre au moyen de la petite pièce en laiton, *fig.* 9, qui porte une gorge conique à l'aide de laquelle on serre fortement, l'un contre l'autre, les deux cônes extérieurs des pièces d'acier à robinet. Le serrage est très-énergique sur tout le contour des cônes, parce que les cônes en creux de la presse, *fig.* 9, ont un angle à la base un peu plus aigu que les cônes en relief des pièces d'acier, *fig.* 8.

Le tube laboratoire est maintenu dans une position verticale invariable, au moyen d'une pince *x*, garnie intérieurement de bouchons, et que l'on ouvre ou ferme très-facilement avec l'écrou mobile *s*; cet écrou marche sur

Digitized by Google

une vis qui peut tourner horizontalement autour de x. La pince est d'ailleurs fixée, une fois pour toutes, dans une position convenable, sur le support ZZ', où elle est maintenue par la vis de pression w. Il est ainsi extrêmement facile de mettre le laboratoire en place, et de le détacher sans s'exposer à casser le tube capillaire fer'.

Le mesureur ab est traversé, vers a, par deux fils de platine opposés, dont les extrémités s'approchent à une distance de quelques millimètres à l'intérieur de la cloche, et dont les autres extrémités sont fixées avec un peu de cire sur le bord supérieur du manchon. C'est à l'aide de ces fils que l'on détermine le passage de l'étincelle électrique dans la cloche; l'eau du manchon MM'NN' n'y fait pas obstacle, si l'on provoque l'étincelle avec une bouteille de Leyde.

Cela posé, supposons qu'il s'agisse d'analyser avec cet appareil un mélange d'air atmosphérique et d'acide carbonique :

On remplit entièrement le mesureur ab de mercure que l'on verse par le tube cd; lorsque le mercure s'écoule par le robinet r, on ferme ce dernier. On remplit également de mercure le laboratoire gf. A cet effet, le tube gf étant détaché de la pince x, on enfonce ce tube entièrement dans la cuve à mercure V, le robinet r' étant ouvert; et, pour remplir complétement le tube capillaire fer' de mercure, on aspire avec la bouche dans un tube de verre muni d'une tubulure de caoutchouc, dont on applique le bord sur la partie plane de la tubulure r'. Lorsque le mercure commence à sortir, on ferme le robinet r'.

On fait passer alors dans le laboratoire le gaz que l'on veut analyser, et que l'on a recueilli à cet effet dans une petite cloche. Le transvasement se fait sur la cuve V elle-même; il est très-facile, à cause de la forme que l'on a donnée à cette cuve. On met le laboratoire en place en l'assujettissant avec la pince x : on adapte les deux tubu-

Digitized by Google

lures r, r' l'une sur l'autre; puis, faisant monter d'un côté la cuve V, faisant couler de l'autre le mercure de l'appareil mesureur par le robinet R, enfin ouvrant les robinets r, r', on fait passer le gaz du laboratoire dans le mesureur. Lorsque le mercure commence à s'élever dans le tube capillaire fe, on ralentit l'écoulement du mercure par le robinet R, de façon à faire monter le mercure très-lentement dans le tube fer', et l'on ferme le robinet r' au moment où l'extrémité de la colonne mercurielle affleure à un repère σ tracé sur la branche horizontale er', à une petite distance de la tubulure r'. On amène alors le niveau du mercure à une division déterminée α du tube ab, et on lit immédiatement, sur l'échelle du tube cd, la différence de hauteur des deux colonnes mercurielles. L'eau du manchon a été préalablement agitée à plusieurs reprises, dans toute sa hauteur, en soufflant de l'air au travers à l'aide d'un tube qui plonge jusqu'en bas.

Soient t la température de cette eau, que l'on rendra stationnaire pendant toute la durée de l'analyse, f la force élastique de la vapeur aqueuse à saturation pour cette température, V le volume du gaz, H la hauteur du baromètre, enfin h la hauteur du mercure soulevé; $H + h - f$ sera la force élastique du gaz supposé sec. Il est important de donner à l'eau du manchon une température très-peu différente de celle de l'air ambiant, qui, d'ailleurs, ne varie pas sensiblement pendant la très-courte durée de l'expérience; il n'est pas alors nécessaire de ramener à o, par le calcul, la hauteur du baromètre et celle du mercure soulevé dans l'appareil manométrique $abcd$. Le gaz recueilli dans le mesureur est d'ailleurs toujours saturé d'humidité, parce que les parois du tube ab sont toujours mouillées d'une petite quantité d'eau; et celle-ci constamment la même, puisque c'est celle que le mercure n'enlève pas en montant, lorsqu'on remplit le tube.

Quand cette mesure est exécutée, on fait couler de nou-

Digitized by Google

veau le mercure du robinet R, et l'on ouvre le robinet r' pour faire passer tout le gaz, ainsi qu'une colonne de mercure, dans le tube *ra*; puis on ferme le robinet r'. On détache alors le laboratoire, et on y fait monter, à l'aide d'une pipette recourbée, une goutte d'une dissolution concentrée de potasse; on ajuste de nouveau le laboratoire au mesureur; on fait descendre la cuve V au plus bas de sa course; puis, après avoir versé une grande quantité de mercure dans le tube *cd*, on ouvre progressivement les robinets r, r'. Le gaz passe alors du mesureur dans le laboratoire, et la petite quantité de dissolution de potasse mouille complétement les parois de la cloche. On ferme le robinet r' lorsque le mercure commence à descendre du tube mesureur dans la branche verticale *ef* du laboratoire. On attend quelques minutes, pour laisser agir l'action absorbante de la potasse; puis on fait passer le gaz du laboratoire dans le mesureur, en faisant monter la cuve V, et couler le mercure du robinet R. Aussitôt que la dissolution alcaline commence à s'élever dans le tube *fe*, on ferme le robinet r', et on détermine le mouvement inverse, c'est-à-dire on fait repasser le gaz du mesureur dans le laboratoire, en faisant descendre la cuve V, et reversant du mercure dans le tube *cd*. Cette opération a pour but de mouiller de nouveau les parois de la cloche *fg* de dissolution de potasse, et de soumettre le gaz à l'action absorbante de la nouvelle couche alcaline.

On peut répéter ces opérations plusieurs fois, si on le juge convenable; mais nous avons reconnu qu'après la seconde opération l'acide carbonique était totalement absorbé. On fait alors passer, pour la dernière fois, le gaz du laboratoire dans le mesureur, et l'on ferme le robinet r' au moment où le sommet de la colonne alcaline arrive au repère σ. On ramène le niveau du mercure en α dans le tube *ab*; on mesure la différence de hauteur h' du mercure dans les deux branches *ab* et *cd*, et on note la hauteur H' du baromètre. Nous supposerons que la température de

Digitized by Google

l'eau du manchon n'a pas changé; s'il en était autrement, on la ramènerait à la même température t par l'addition d'une petite quantité d'eau chaude ou froide. On rend d'ailleurs cette température uniforme dans toute la hauteur, en soufflant de l'air à travers l'eau du manchon.

La force élastique du gaz, dépouillé d'acide carbonique et sec, est donc $(H' + h' - f)$; par suite $(H + h - f) - (H' + h' - f) = H - H' + h - h'$ est la diminution de force élastique occasionnée par l'absorption de l'acide carbonique; et $\frac{H - H' + h - h'}{H + h - f}$ représente la proportion d'acide carbonique contenue dans le gaz supposé sec.

Il faut maintenant déterminer la proportion d'oxygène qui existe dans le gaz restant. A cet effet, on détache le laboratoire, on le lave à plusieurs reprises avec de l'eau. On le dessèche d'abord avec du papier joseph, puis en le mettant quelques instants en communication avec une machine pneumatique; enfin, après l'avoir rempli complétement de mercure, on l'adapte au mesureur. La cuve V étant amenée au point le plus haut de sa course, on fait couler le mercure du robinet R; puis, ouvrant avec précaution les robinets r et r', on fait passer le mercure du laboratoire dans le tube ar du mesureur; on ferme le robinet r lorsque l'extrémité de la colonne mercurielle arrive à un second repère τ tracé sur la branche verticale ah. On ramène de nouveau le mercure du mesureur au niveau α, et l'on détermine la différence de niveau h'' et la hauteur H'' du baromètre. $H'' + h'' - f$ est donc la force élastique du gaz sec; la quantité de ce gaz est un peu plus petite que dans la mesure faite immédiatement après l'absorption de l'acide carbonique, parce qu'une petite quantité (environ $\frac{1}{3000}$) a été perdue lorsqu'on a détaché le laboratoire du mesureur. Cette petite perte n'a d'ailleurs aucune influence sur le résultat de l'analyse, puisque nous mesurons de nouveau le gaz.

Le laboratoire étant, de nouveau, détaché du mesureur.

Digitized by Google

on y introduit le gaz hydrogène destiné à brûler l'oxygène : on fait passer ce gaz dans le mesureur, en arrêtant le mercure ascendant au repère τ. On affleure de nouveau le mercure en α, on mesure la différence de hauteur h''' des deux colonnes de mercure, et l'on note la hauteur H''' du baromètre. $H''' + h''' - f$ est donc la force élastique du mélange de gaz hydrogène et de gaz à analyser. Comme il faut un certain temps pour que les gaz se mélangent d'une manière parfaite, on ne peut pas opérer immédiatement la combustion par l'étincelle électrique ; on obtiendrait le plus souvent une analyse inexacte, ainsi que nous nous en sommes assurés. Il faut faire passer de nouveau le gaz du mesureur dans le laboratoire, y laisser couler même, par le tube *hef*, un peu de mercure qui détermine une agitation dans le gaz ; enfin, faire repasser le mélange dans le mesureur, en laissant, cette fois, le mercure remplir complétement le tube étroit *rha*, afin que tout le volume du gaz soit soumis à la combustion.

On fait passer l'étincelle électrique ; puis, ayant établi un excès de pression dans le mesureur *ab*, on ouvre avec précaution les robinets r, r' pour laisser rétrograder la colonne mercurielle dans le tube *ahr* : on l'arrête lorsqu'elle arrive au repère τ. On mesure de nouveau la force élastique du gaz restant, après avoir affleuré le mercure en α ; $H'''' + h'''' - f$ est alors cette force élastique. Par suite,

$$(H''' + h''' - f) - (H'''' + h'''' - f) = H''' - H'''' + h''' - h''''$$

est la force élastique du mélange gazeux disparu dans la combustion ;

$\frac{1}{3}(H''' - H'''' + h''' - h'''')$ est la force élastique de l'oxygène contenu dans le gaz sec dont la force élastique est $(H'' + h'' - f)$;

et $\frac{1}{3}\frac{(H''' - H'''' + h''' - h'''')}{H'' + h'' - f}$ est la proportion d'oxygène contenue dans le gaz débarrassé d'acide carbonique.

Digitized by Google

Il est facile d'en déduire la proportion d'oxygène contenue dans le gaz primitif.

L'exemple que nous avons choisi suffit pour montrer comment on opère avec cet appareil ; les manipulations sont des plus simples, et l'opérateur les exécute entièrement tout seul, sans avoir besoin d'aucun aide ; enfin, l'opération est tellement rapide, que celle que nous venons de décrire exige moins de trois quarts d'heure : encore la plus grande partie de ce temps est-elle prise par l'absorption de l'acide carbonique et le nettoyage de la cloche après cette opération. Une analyse de l'air, débarrassé d'acide carbonique, se fait en moins de vingt minutes.

Nous remarquerons que, dans cette manière d'opérer, on n'a besoin d'aucun jaugeage de capacité, opération qui est toujours fort délicate ; le volume du gaz est constamment le même, et l'on n'en détermine que les forces élastiques.

Nous nous sommes contentés de mesurer les forces élastiques du gaz, en lisant directement sur les tubes gradués *cdab*, les divisions auxquelles correspondent les colonnes de mercure. Pour éviter les erreurs de parallaxe, on lisait ces divisions avec une lunette horizontale LL′, et l'on appréciait à l'œil le $\frac{1}{10}$ de millimètre. Cette précision était suffisante pour notre but ; mais il est clair que l'on obtiendrait plus de rigueur en faisant les mesures avec un cathétomètre.

On peut se servir du même appareil d'une autre manière : au lieu de maintenir le volume du gaz constant et de mesurer ses forces élastiques, on peut faire l'inverse, rendre constante la force élastique et mesurer le volume. Dans ce cas, le tube *ab* doit être jaugé avec précision ; ce jaugeage est d'ailleurs facile à faire, avec une grande certitude, sur l'appareil monté. Il suffit, pour cela, de remplir le mesureur complétement de mercure ; puis, maintenant constante la température de l'eau qui l'environne, on fait couler successivement le mercure en mettant le robinet R dans la position où le mercure du tube *ab* s'écoule seul : on pèse

Digitized by Google

le mercure écoulé, et l'on note la division à laquelle le niveau du mercure affleure, chaque fois, sur l'échelle du tube.

Pour juger du degré d'exactitude que comporte notre appareil, nous avons fait six analyses de l'air atmosphérique recueilli dans un flacon et privé de son acide carbonique. Nous avons opéré comme nous l'avons dit précédemment, sans mesurer les forces élastiques au cathétomètre; en un mot, en restant dans les conditions où nous voulions nous tenir pour l'analyse des gaz de la respiration. Nous avons obtenu les volumes suivants d'oxygène contenus dans 100 d'air :

20,936
20,940
20,932
20,960
20,946
20,941

La plus grande différence s'élève à 0,028; c'est une précision plus grande que celle qui a encore été atteinte par les procédés connus.

Nous nous sommes ensuite livrés à une série de recherches dans le but de reconnaître les causes d'erreur qui peuvent se présenter dans les analyses eudiométriques suivant la composition du mélange gazeux, et nous avons cherché les moyens de les éviter.

Nous avons déterminé d'abord les limites d'explosibilité des mélanges d'hydrogène et d'oxygène dans lesquels l'un ou l'autre de ces gaz domine, ainsi que les plus grandes variations que ces mélanges peuvent présenter, sans que l'analyse eudiométrique devienne inexacte.

MM. Gay-Lussac et Humboldt se sont déjà occupés de cette recherche (*Journal de Physique*, 1805); ils déterminèrent la réduction de volume que subissaient des mélanges

Digitized by Google

en proportions variables d'hydrogène et d'oxygène lorsqu'on les enflammait dans l'eudiomètre. Dans une série d'expériences où l'oxygène était en excès, ils trouvèrent les résultats suivants :

HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.	ABSORPTION observée.	ABSORPTION calculée.	RAPPORT entre le volume du mélange détonant et celui du gaz total.
100	200	146	150	0,500
100	300	146	150	0,375
100	600	146	150	0,214
100	900	146	150	0,150
100	950	68	150	0,143
100	1000	55	150	0,136
100	1200	24	150	0,125
100	1400	14	150	0,100
100	1600	0	150	0,094

Tant que le volume du mélange détonant n'est pas devenu moindre que les 0,15 du volume total, l'absorption observée s'est accordée sensiblement avec l'absorption calculée; lorsque ce volume a été compris entre 0,15 et 0,10, la combustion n'a été que partielle, et la portion du mélange détonant qui y échappait est devenue de plus en plus considérable ; enfin, quand le volume du mélange n'a été que les 0,10 du volume total, il n'y a plus eu d'explosion.

MM. Gay-Lussac et Humboldt obtinrent des résultats semblables par l'inflammation de 100 d'oxygène avec 200, 300, .., 1000 d'hydrogène.

Nous donnerons d'abord les expériences que nous avons faites dans un excès d'hydrogène. Il faut se rappeler que, dans notre manière d'opérer, le volume du gaz reste constant, et que nous en apprécions la quantité par les

Digitized by Google

forces élastiques. Nous n'avons donc que celles-ci à inscrire. Nous désignerons par $\frac{F'}{F}$ le rapport entre la force élastique du mélange détonant et celle du gaz total.

Première expérience.

Hydrogène	719,87	
Oxygène	141,58	$\frac{F'}{F} = 0,164$.
Oxygène déduit de l'absorption	140,93	
Perte	0,65	

Deuxième expérience.

Hydrogène	688,16	
Oxygène	98,03	$\frac{F'}{F} = 0,142$.
Oxygène déduit de l'absorption	98,75	
Gain	0,72	

Troisième expérience.

Hydrogène	712,70	
Oxygène	69,09	$\frac{F'}{F} = 0,088$.
Oxygène déduit de l'absorption	67,72	
Perte	1,37	

Quatrième expérience.

Hydrogène	704,92	
Oxygène	57,39	$\frac{F'}{F} = 0,075$.

Pas d'explosion; le volume du mélange n'a pas diminué sensiblement par le passage de plusieurs étincelles.

Cinquième expérience.

Hydrogène	714,01	
Oxygène	36,90	$\frac{F'}{F} = 0,049$

Pas d'explosion ni de diminution de volume.

Digitized by Google

On voit par ces expériences que tant que $\frac{F'}{F}$ a été supérieur à 0,088, il y a eu explosion, et la combustion a été complète; car, pour $\frac{F'}{F} = 0,088$, on n'a eu qu'une perte de $1^{mm},37 = 0,0017$ du mélange total. Pour des valeurs de $\frac{F'}{F}$ moindres que 0,075, on n'a pas eu d'explosion. Ainsi, *pour des mélanges d'hydrogène et d'oxygène où l'hydrogène domine, la limite de l'explosibilité coïncide sensiblement avec celle à laquelle l'analyse cesse d'être exacte.*

Nous avons fait des expériences analogues sur des mélanges dans lesquels l'oxygène était dominant :

Première expérience.

Oxygène	712,3	
Hydrogène	161,7	$\frac{F'}{F} = 0,277$.
Hydrogène déduit de l'absorption	161,6	
Perte	0,1	

Deuxième expérience.

Oxygène	784,8	
Hydrogène	107,2	$\frac{F'}{F} = 0,180$.
Hydrogène déduit de l'absorption	106,8	
Perte	0,4	

Troisième expérience.

Oxygène	802,3	
Hydrogène	99,7	$\frac{F'}{F} = 0,166$.
Hydrogène déduit de l'absorption	99,9	
Gain	0,2	

Quatrième expérience.

Oxygène	788,6	
Hydrogène	79,6	$\frac{F'}{F} = 0,137$.
Hydrogène déduit de l'absorption	27,8	
Perte	51,8	

Digitized by Google

Cinquième expérience.

Oxygène.....	791,3	
Hydrogène.....	52,4	... $\frac{F'}{F} = 0,093$.

On a pas eu d'explosion; on a ajouté alors :

Hydrogène. 35,5. Hydrogène total.	85,9	... $\frac{F'}{F} = 0,150$.
Perte.....	49,2	

Sixième expérience.

Oxygène.....	767,6	
Hydrogène.....	40,5	... $\frac{F'}{F} = 0,075$.

On n'a pas eu d'explosion; on a ajouté alors :

Hydrogène. 70,2. Hydrogène total.	110,7	... $\frac{F'}{F} = 0,190$.
Hydrogène déduit de l'absorption....	110,7	
Perte.....	0,0	

Septième expérience.

Oxygène.....	796,0	
Hydrogène.....	33,7	... $\frac{F'}{F} = 0,061$.

On n'a pas eu d'explosion; on a ajouté alors :

Hydrogène. 28,0. Hydrogène total.	61,7	... $\frac{F'}{F} = 0,108$.
Hydrogène déduit de l'absorption....	9,3	
Perte.....	52,4	

Ainsi, tant que $\frac{F'}{F}$ n'a pas été moindre que 0,166, on a eu une combustion complète; pour $\frac{F'}{F} = 0\ 150$, les 0,44 de l'hydrogène ont seulement été brûlés; pour $\frac{F'}{F} = 0,137$, les 0,65 de l'hydrogène ont échappé à la combustion; pour $\frac{F'}{F} = 0,108$, les 0,15 de l'hydrogène ont été brûlés; enfin,

Digitized by Google

pour les valeurs de $\frac{F'}{F} = 0,093$ et au-dessous, on n'a plus eu d'inflammation ni de diminution de volume par le passage des étincelles électriques. On peut donc admettre qu'*avec notre appareil, on obtient des analyses exactes pour des mélanges d'hydrogène et d'oxygène dominant, tant que le volume du mélange détonant ne forme pas une fraction moindre que* 0,166 *du mélange total, ou quand le volume de l'hydrogène forme au moins les* 0,12 *du volume de l'oxygène.*

On voit ici que la proportion du mélange détonant pour laquelle cesse la combustion totale, et celle pour laquelle on n'a plus d'explosion, sont beaucoup plus fortes que lorsque l'hydrogène était dominant. Ainsi, *la présence d'un excès d'oxygène s'oppose plus efficacement à la combustion du mélange détonant que celle d'un excès d'hydrogène.*

On voit également, par les expériences dans lesquelles on a eu des combustions complètes, qu'on n'a pas à craindre l'absorption de l'oxygène par le mercure au moment de l'explosion. Nous avons établi ce fait, avec plus de certitude encore, dans une série d'expériences où nous brûlions, dans un volume connu d'oxygène, des proportions de plus en plus grandes de gaz de la pile; le volume de l'oxygène a toujours été retrouvé le même après la combustion.

Il nous a paru intéressant de rechercher si le gaz acide carbonique s'opposait plus fortement que l'oxygène à la combustion d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène. A cet effet, nous avons introduit dans notre eudiomètre un volume considérable d'acide carbonique, auquel nous avons ajouté successivement des quantités de plus en plus grandes de gaz de la pile jusqu'à ce qu'il y eût combustion par le passage de l'étincelle. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Digitized by Google

Première expérience.

Acide carbonique.....	191,0		
1re add. de mél. détonant..	51,7	$\frac{F'}{F} = 0,061$	Pas d'explosion.
2e » »	25,7	$\frac{F'}{F} = 0,089$	»
3e » »	35,7	$\frac{F'}{F} = 0,126$	»
4e » »	54,0	$\frac{F'}{F} = 0,176$	»
5e » »	194,0	$\frac{F'}{F} = 0,267$.	Explosion et absorption complète.

Seconde expérience.

Acide carbonique.....	823,7		
1re add. de mél. détonant..	181,5	$\frac{F'}{F} = 0,180$	Pas d'explosion.
2e » »	22,5	$\frac{F'}{F} = 0,197$	»
3e » »	27,9	$\frac{F'}{F} = 0,219$	»
4e » »	50,1	$\frac{F'}{F} = 0,254$.	Explosion, mais les 0,13 seulement du mélange détonant ont disparu.
5e » »	62,0	$\frac{F'}{F} = 0,272$.	Explosion; les 0,97 du mélange détonant ont disparu.

Pour que le mélange détonant disparaisse complétement par la combustion, lorsqu'il est mélangé d'acide carbonique, il faut que la force élastique de ce mélange soit au moins les 0,27 de la force élastique totale, ou que son volume soit au moins les 0,42 de celui de l'acide carbonique. L'explosion partielle ne commence que quand $\frac{F'}{F}$ dépasse 0,22. *L'acide*

Digitized by Google

carbonique empêche donc, plus efficacement que l'oxygène, la combustion d'un mélange détonant; car, avec l'oxygène, la combustion devenait complète lorsque $\frac{F'}{F}$ dépassait 0,16.

Comme l'acide carbonique a une plus grande capacité calorifique que l'oxygène, on peut attribuer à cette cause le plus grand obstacle qu'il oppose à la combustion du mélange détonant; mais on ne peut pas expliquer de la même manière la différence que l'on observe pour l'oxygène et l'hydrogène, car, à volume égal et sous les mêmes pressions, ces deux gaz ont sensiblement la même chaleur spécifique. Il est probable que la mobilité du gaz exerce une grande influence sur ce phénomène.

Nous avons ensuite cherché l'influence qu'exerçait sur la combustibilité du mélange d'hydrogène et d'oxygène la présence d'une proportion plus ou moins considérable d'azote ou d'air atmosphérique. A cet effet, nous avons mêlé à un grand volume d'air des quantités de plus en plus petites d'hydrogène jusqu'à ce que nous n'eussions plus d'explosion. La proportion d'hydrogène était, dans tous les cas, insuffisante pour brûler tout l'oxygène de l'air.

Première expérience.

Air atmosphérique.....	688,52	
Hydrogène.....	281,51	$= 0,978$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,213$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	281,32	
Perte.....	0,19	

h étant la quantité d'hydrogène nécessaire pour brûler tout l'oxygène de l'air.

Deuxième expérience.

Air atmosphérique.....	681,47	
Hydrogène.....	186,39	$= 0,654$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,213$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	186,92	
Gain.....	0,53	

Digitized by Google

Troisième expérience.

Air atmosphérique.....	689,82	
Hydrogène.....	111,75	$= 0,387$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,139$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	110,92	
Perte	0,83	

Quatrième expérience.

Air atmosphérique.....	689,88	
Hydrogène.....	83,93	$= 0,291$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,108$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	82,16	
Perte	1,77	

Cinquième expérience.

Air atmosphérique.....	688,43	
Hydrogène.....	55,79	$= 0,194$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,075$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	14,12	
Perte	41,67	

Sixième expérience.

Air atmosphérique.....	695,88	
Hydrogène....	55,32	$= 0,190$ de $h : \frac{F'}{F} = 0,073$.
Hydrog. déd. de l'absorpt..	16,20	
Perte	39,12	

Nous voyons, par ces expériences, que la combustion de l'hydrogène a été complète tant que $\frac{F'}{F}$, c'est-à-dire le rapport entre la force élastique du mélange détonant et celle du gaz total, n'a pas été moindre que 0,14, ou quand le volume de l'hydrogène ne formait pas une fraction plus petite que 0,17 du volume de l'air. C'est la même limite exactement que celle que nous avons trouvée pour le cas de la combustion du mélange détonant dans un excès d'oxy-

Digitized by Google

gène. Ainsi, *l'azote et l'oxygène s'opposent, avec la même efficacité, à la combustion du mélange détonant.*

Nous avons obtenu des résultats absolument semblables en faisant brûler, dans un même volume d'air atmosphérique, des proportions décroissantes de gaz de la pile jusqu'à ce qu'il n'y eût plus de combustion. La limite, à partir de laquelle la combustion est devenue incomplète, a été trouvée la même que dans le cas précédent. Dans celles de ces dernières expériences où nous avons eu des combustions complètes, nous avons retrouvé exactement le volume de l'air initial; il ne s'est pas formé de produits nitreux, bien que les circonstances, regardées généralement comme favorables à cette production, se trouvassent réalisées. Nous avons jugé convenable de rechercher les conditions dans lesquelles cette formation a lieu.

MM. Bunsen et Kolbe ont fait dernièrement des expériences intéressantes sur ce sujet (*Annales de Liebig*, tome LIX, page 208); ils ont fait brûler dans un volume constant d'air un mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène en proportions décroissantes, et ils ont obtenu les résultats suivants :

Air.	Gaz détonant.	Résidu.
100	259,70	86,15
100	226,86	88,56
100	84,98	99,19
100	63,21	99,97
100	48,98	99,99
100	40,00	100,10
100	36,39	100,36
100	21,20	100,79
100	11,00	pas de combustion.

On voit dans ces expériences que, tant que le mélange détonant a formé une fraction plus grande que 0,40 et plus petite que 0,85 du volume de l'air, l'absorption a été exacte; quand cette fraction a été plus petite que 0,40, l'absorp-

Digitized by Google

tion a été trop faible; enfin, quand elle a été plus grande que 0,85, on a eu une absorption trop grande, par suite de la formation de produits nitreux.

M. Bunsen a constaté que, dans ce dernier cas, il se forme de l'azotate d'oxydule de mercure, dont on observe quelquefois de petits cristaux aiguillés sur les parois de l'eudiomètre. Une haute température, qui produit la volatilisation d'une certaine quantité de mercure, est nécessaire à cette production, et c'est pour cela que le volume du mélange détonant doit être considérable.

Nous avons répété les expériences de M. Bunsen, et nous sommes arrivés à des résultats semblables; l'absorption a été exacte tant que le volume du mélange détonant n'a pas dépassé les 0,92 de celui de l'air atmosphérique; pour des proportions plus considérables de mélange détonant, il y a eu formation de produits nitreux. Nous avons d'ailleurs constaté que c'est bien de l'azotate d'oxydule de mercure qui se forme dans cette circonstance. Après avoir fait détoner, plusieurs fois de suite, avec le même volume d'air, du gaz de la pile, dans les proportions favorables à la formation des produits nitreux, nous avons introduit un peu d'eau dans l'eudiomètre pour en laver les parois. Cette eau a donné un précipité noir avec la potasse; évaporée sur un verre de montre, elle a donné de petits cristaux blancs qui, par la calcination, se sont changés en une poudre rouge d'oxyde de mercure.

Il est donc important de rester entre les limites que nous venons d'indiquer, toutes les fois que l'on fait brûler un mélange détonant au milieu de l'air atmosphérique, opération que nous avons eu constamment à faire dans nos analyses des gaz de la respiration; mais cela est facile, parce que les limites entre lesquelles les analyses sont exactes, sont fort éloignées.

Il nous paraissait probable que le diamètre intérieur de l'eudiomètre devait avoir une influence sur les limites de

Digitized by Google

combustibilité des mélanges détonants. Le tube de notre eudiomètre ordinaire a 16 millimètres de diamètre intérieur; nous avons voulu nous assurer si les limites de combustibilité seraient encore les mêmes dans un tube qui n'avait que 7 millimètres. Nous avons fait détoner dans ce tube, qui remplaçait le tube *ab* de notre eudiomètre, de l'air atmosphérique avec des proportions de plus en plus grandes de gaz de la pile.

Première expérience.

Air atmosphérique	806,6		
1re add. de gaz de la pile.	95,5	$\frac{F'}{F} = 0,105$	Pas d'explosion.
2e » »	87,5	$\frac{F'}{F} = 0,185$	»
3e » »	183,6	$\frac{F'}{F} = 0,312$.	Explosion et combustion complète.

Deuxième expérience.

Air atmosphérique	784,0		
Gaz de la pile.....	281,1	$\frac{F'}{F} = 0,264$.	Explosion et combustion complète.

Troisième expérience.

Air atmosphérique	782,7		
Gaz de la pile.....	230,2	$\frac{F'}{F} = 0,226$.	Explosion et combustion complète.

La plus petite valeur de $\frac{F'}{F}$, pour laquelle la combustion est encore complète, doit s'éloigner peu de 0,21; il n'y a pas eu d'explosion pour $\frac{F'}{F} = 0,185$, et, pour cette dernière valeur, l'explosion aurait eu lieu dans l'eudiomètre de 16 millimètres de diamètre. La combustion est donc plus difficile dans un tube étroit que dans un tube plus large. Ce fait s'est montré d'une manière encore plus marquée,

Digitized by Google

lorsque le gaz de la pile a été mélangé avec de l'acide carbonique.

Acide carbonique.....	726,6		
1re add. du gaz de la pile.	276,8	$\frac{F'}{F} = 0,275$	Pas d'explosion.
2e » »	103,3	$\frac{F'}{F} = 0,343$.	Explosion et combustion complète.

Dans le large tube nous avons eu une combustion complète pour $\frac{F'}{F} = 0,267$.

Lorsqu'on fait détoner un mélange d'hydrogène, d'oxygène ou d'air atmosphérique, et d'acide carbonique, l'hydrogène étant en excès, *une partie de l'acide carbonique est constamment transformée en oxyde de carbone.* Ce fait est démontré par les expériences suivantes :

Première expérience.

On a ajouté à un mélange de :

Acide carbonique.....	47,4
Hydrogène.....	52,6
	100,0

un volume indéterminé de gaz de la pile, et l'on a fait passer l'étincelle.

La diminution de volume a été de..	28,6	correspondant à 28,6 d'acide carbonique changé en oxyde de carbone.
La potasse a absorbé.....	19,0	d'acide carbonique restant.
	47,6	

Dans une deuxième expérience, faite sur le même mélange, on a eu :

Acide carbonique transformé en oxyde de carbone...	26,7
Acide carbonique restant.....	20,8
	47,5

Digitized by Google

Enfin, une troisième expérience a été faite sur un mélange composé de :

Acide carbonique	19,3
Hydrogène	80,7
	100,0

on a eu :

Acide carbonique transformé en oxyde de carbone	16,1
Acide carbonique restant	3,2
	19,3

Ainsi, *lorsqu'on veut déterminer, par combustion, la proportion d'oxygène qui se trouve dans un air contenant de l'acide carbonique, il est absolument nécessaire d'absorber préalablement cet acide par la potasse.*

Réciproquement, lorsqu'on fait brûler un mélange détonant renfermant un excès d'hydrogène dans un gaz qui contient de l'oxyde de carbone, *il y a toujours une portion de ce dernier gaz transformée en acide carbonique;* la portion en est d'autant plus grande que l'excès d'hydrogène est plus faible. Ce fait est démontré par les expériences suivantes :

Dans les deux premières expériences on a fait détoner de l'air atmosphérique avec un excès d'hydrogène et une certaine quantité d'oxyde de carbone.

Première expérience.

Air atmosphérique.	656,64	Oxygène	137,57
		Azote	519,07
		Hydrogène	475,6
		Oxyde de carbone	233,3
			1365,54

Après le passage de l'étincelle on a eu une absorption	364,2
La potasse a absorbé acide carbonique	46,2

On déduit de là :

Oxygène combiné avec l'hydrogène	113,7
Oxygène combiné avec l'oxyde de carbone	23,1
Oxygène total	136,8

Digitized by Google

Deuxième expérience.

Air atmosphérique.	657,34	Oxygène.....	137,71
		Azote.....	519,63
		Hydrogène.....	511,40
		Oxyde de carbone...	204,40
			1373,14

Après le passage de l'étincelle on a eu une absorption.. 376,3
La potasse a absorbé acide carbonique..... 39,4

On déduit de là :

Oxygène combiné avec l'hydrogène.....	118,87
Oxygène combiné avec l'oxyde de carbone..	19,70
Oxygène total.....	138,57

Dans les deux expériences suivantes on a fait détoner des mélanges d'oxygène, d'hydrogène et d'oxyde de carbone, mais dans lesquels tantôt l'hydrogène, tantôt l'oxyde de carbone dominait.

Troisième expérience.

Oxygène.....	260,00
Hydrogène.....	873,05
Oxyde de carbone....	230,50
	1363,55

L'étincelle a donné une diminution de volume de..... 734,7
La potasse a absorbé acide carbonique..... 50,5

D'où l'on déduit :

Oxygène combiné avec l'hydrogène.....	233,1
Oxygène combiné avec l'oxyde de carbone...	25,3
Oxygène total.....	258,4

Quatrième expérience.

Oxygène.....	294,8
Hydrogène.....	525,2
Oxyde de carbone.....	781,4
	1601,4

Digitized by Google

L'étincelle a donné une diminution de volume de..... 646,7
La potasse a absorbé acide carbonique..... 242,6

D'où l'on déduit :

Oxygène combiné avec l'hydrogène.....	175,13
Oxygène combiné avec l'oxyde de carbone	121,30
Oxygène total.....	296,43

On voit que, dans toutes ces expériences, il y a eu une portion de l'oxyde de carbone transformée en acide carbonique, malgré l'excès de l'hydrogène, et la proportion en a été d'autant plus considérable que la quantité d'oxyde de carbone a été plus grande.

Notre appareil se prêtait très-bien à rechercher si les limites d'explosibilité d'un mélange gazeux sont plus étendues lorsque ce mélange est mis sous une pression plus ou moins grande. En opérant sur un mélange qui n'avait pas détoné sous la pression ordinaire de l'atmosphère, mais dont la composition était très-rapprochée de celle pour laquelle la détonation a lieu, nous n'avons pas réussi à le faire brûler, soit en le mettant sous une pression de $\frac{1}{2}$ atmosphère, soit en le comprimant par une pression de 2 atmosphères. En lui ajoutant une petite quantité du gaz qui faisait défaut, nous avons eu la détonation également sous la pression de $\frac{1}{2}$, de 1 et de 2 atmosphères. Cette expérience ne décide pas que l'explosibilité d'un mélange gazeux s'arrête *rigoureusement* à la même limite, quelle que soit la pression sous laquelle il se trouve; elle prouve seulement que cette limite est, *à très-peu de chose près*, la même. C'est le seul point qui nous importait pour l'eudiométrie.

Emploi des réactifs absorbants.

On peut souvent employer avec avantage les réactifs absorbants pour l'analyse des mélanges gazeux.

L'absorption de l'acide carbonique par la potasse se fait facilement et très-exactement dans notre appareil; la seule précaution à prendre, c'est de n'introduire dans le tube

Digitized by Google

laboratoire qu'une petite quantité de dissolution concentrée de potasse, afin que cette liqueur ne puisse pas dissoudre une proportion sensible du gaz restant. Il est utile de faire passer deux ou trois fois le gaz, du laboratoire dans le mesureur, afin de tenir les parois du laboratoire mouillées d'une dissolution alcaline très-active. L'absorption est complète après deux passages, et le volume du gaz reste ensuite constant, quel que soit le temps pendant lequel on le laisse séjourner sur la potasse.

Nous avons essayé tous les réactifs absorbants de l'oxygène qui ont été proposés jusqu'ici.

Le phosphore absorbe l'oxygène très-lentement, à une basse température. L'absorption n'est souvent pas complète après plusieurs jours; pour la hâter, on place, vers la fin, le tube au soleil. Lorsqu'on introduit un globule de phosphore dans un gaz privé d'oxygène, et contenu dans une cloche dont les parois sont mouillées par une dissolution alcaline, on remarque constamment que le gaz augmente de volume. Cette circonstance tient probablement à ce que, au contact du phosphore avec la dissolution alcaline, il se forme de l'hypophosphite de potasse, et qu'il se dégage de l'hydrogène ou de l'hydrogène phosphoré. Cette cause d'erreur a dû se présenter fréquemment dans l'analyse des gaz par les anciens procédés.

Les sulfures alcalins, les sulfites et les hyposulfites absorbent l'oxygène avec une lenteur telle, qu'il est impossible de s'en servir pour l'analyse; on est obligé d'employer un volume considérable de la liqueur absorbante, et, si on laisse agir celle-ci indéfiniment, on obtient souvent une absorption plus grande que celle qui correspond à l'oxygène contenu dans le mélange gazeux.

Le sulfate de protoxyde de fer saturé de deutoxyde d'azote absorbe plus rapidement l'oxygène, mais il ne donne pas non plus d'analyse exacte. A la fin de l'absorption, il faut mettre le gaz en présence d'une dissolution de sulfate

Digitized by Google

de protoxyde de fer pur, pour absorber de nouveau le deutoxyde d'azote que la première liqueur a pu abandonner. Le gaz est donc mis en contact avec des volumes considérables de liqueur, et il est toujours à craindre que sa composition ne soit altérée par une absorption ou un dégagement de gaz opérés par ces liqueurs.

L'hydrate de protoxyde de fer, en suspension dans une dissolution alcaline, absorbe rapidement l'oxygène. Pour employer ce réactif dans notre appareil, nous plaçons dans le laboratoire plusieurs tubes étroits, ouverts aux deux bouts, puis nous y introduisons 1 ou 2 centimètres cubes de la liqueur. Lorsqu'on fait passer ensuite le gaz dans le laboratoire, il se trouve soumis à une large surface absorbante, parce que les parois des tubes restent couvertes d'hydrate de protoxyde de fer. On peut aussi se passer des tubes intérieurs, et se contenter d'agiter fréquemment le tube du laboratoire que l'on a détaché de l'appareil; mais alors la liqueur visqueuse donne souvent beaucoup de mousse, et il faut attendre longtemps pour que celle-ci s'affaisse.

Le protochlorure de cuivre dissous dans l'ammoniaque, et le sulfite de protoxyde de cuivre ammoniacal, absorbent aussi très-rapidement l'oxygène. Il faut agiter fréquemment le tube qui renferme le gaz et la liqueur absorbante. Le gaz renferme alors nécessairement un peu de gaz ammoniac abandonné par la liqueur, et on est obligé, avant de le faire passer dans le tube mesureur, de le recueillir dans un second tube laboratoire renfermant quelques gouttes d'acide sulfurique étendu. On peut aussi se servir des pipettes à gaz proposées par M. Ettling (*Annalen der Pharmacie* de Liebig, tome LIII, page 141). On introduit dans l'une de ces pipettes remplie de mercure la dissolution absorbante; puis, par aspiration, on fait passer le gaz du laboratoire dans la pipette. On agite fréquemment, et on laisse séjourner le gaz dans la pipette jusqu'à ce que l'absorption de l'oxygène soit complète; après quoi, on fait

Digitized by Google

passer le gaz dans le laboratoire, où on a mis quelques gouttes d'acide sulfurique étendu.

L'emploi des liquides absorbants pour l'analyse des gaz présente une cause d'erreur qu'il n'est pas toujours facile d'éviter. Comme on est obligé d'en employer un volume un peu considérable, il est toujours à craindre que le liquide n'altère la composition du résidu gazeux à cause des petites quantités de gaz qu'il peut dissoudre ou exhaler. Lorsqu'on ne s'en sert que pour analyser des mélanges d'oxygène et d'azote, cette erreur est moins à redouter, si l'on a soin de ne jamais introduire dans l'appareil qu'une dissolution de protochlorure de cuivre ayant séjourné longtemps au contact d'une atmosphère d'azote pur; cette condition se trouve naturellement remplie quand on conserve cette liqueur dans un flacon bouché que l'on n'ouvre pas très-fréquemment. Mais il n'en serait pas de même si le résidu gazeux contenait encore d'autres gaz que l'azote.

L'analyse de l'air par les réactifs absorbants a toujours été beaucoup plus longue dans notre appareil que celle par combustion avec l'hydrogène. Pour ne pas conserver d'inquiétude sur l'exactitude de l'analyse, il est nécessaire de s'assurer que le résidu gazeux ne subit pas une nouvelle diminution de volume par un séjour plus longtemps prolongé au contact du réactif absorbant. La combustion par l'hydrogène est, au contraire, toujours immédiatement complète, si l'on a eu soin de bien mélanger les gaz en les faisant passer, deux fois, du laboratoire dans le mesureur, et si la proportion du gaz combustible, par rapport au mélange, est restée au-dessus de la limite que nous avons fixée plus haut; ce que l'on reconnaît, d'ailleurs, facilement quand l'analyse est terminée.

Dans quelques cas spéciaux que nous indiquerons plus loin, on ne peut pas se servir de la combustion, et il faut avoir recours aux réactifs absorbants pour déterminer l'oxygène.

Le gaz acide sulfureux s'absorbe par la potasse. Quand il

Digitized by Google

est mélangé avec de l'acide carbonique, on peut faire l'analyse du mélange au moyen de l'oxyde rouge de mercure ou du peroxyde de plomb, qui n'absorbent que l'acide sulfureux. A cet effet, on applique ces oxydes délayés avec un peu d'eau sur une tige de porcelaine dégourdie, sur laquelle ils restent ensuite fixés; puis on introduit dans le tube laboratoire, contenant le mélange gazeux, la tige ainsi recouverte d'oxyde humide, et on l'y laisse jusqu'à ce que l'absorption soit complète. La séparation des deux gaz se fait encore plus facilement au moyen d'une dissolution concentré de bichromate de potasse mélangée d'acide sulfurique, qui n'absorbe que l'acide sulfureux.

Le cyanogène s'absorbe immédiatement par la potasse; il peut être absorbé aussi par l'oxyde de mercure humide; mais l'absorption est très-lente.

On absorbe l'hydrogène sulfuré par une petite quantité d'une dissolution de sulfate de cuivre ou d'acétate de plomb.

L'hydrogène bicarboné est absorbé par de l'acide sulfurique de Nordhausen fortement chargé d'acide sulfurique anhydre. On prépare cette dissolution en versant un peu d'acide sulfurique concentré dans un tube où l'on a condensé de l'acide sulfurique anhydre. On peut introduire une petite quantité de cet acide fumant, au moyen d'une pipette recourbée, dans le tube laboratoire renfermant le mélange gazeux; mais alors le mercure est attaqué, et il se dégage de l'acide sulfureux. Il vaut mieux imbiber d'acide fumant un morceau de mousse de platine ou de coke fixé à un fil de platine, et que l'on introduit au milieu du gaz. Dans tous les cas, avant de faire passer le gaz dans le mesureur, il faut le faire séjourner dans un second tube, au contact d'une dissolution alcaline. Il est essentiel aussi que le mélange gazeux soumis à l'action de l'acide sulfurique fumant ne renferme plus d'oxygène; car le mercure pourrait, au contact de l'acide, absorber facilement une portion de ce gaz. Ce procédé peut servir à séparer l'hydrogène bicarboné de l'hydrogène protocarboné, mais

Digitized by Google

il présente peu de précision, parce que l'absorption complète du gaz oléfiant demande beaucoup de temps.

Les méthodes par absorption peuvent souvent être combinées utilement avec les procédés par combustion, dans l'analyse des mélanges de gaz; mais il faut les employer avec beaucoup de circonspection, car ils peuvent facilement induire en erreur lorsque le gaz que l'on veut doser se trouve en très-petite quantité.

APPLICATION DES MÉTHODES PRÉCÉDENTES A L'ANALYSE DE QUELQUES MÉLANGES GAZEUX.

Nous supposerons toujours que ces mélanges ont été préalablement débarrassés d'acide carbonique par l'action de la potasse.

Mélanges d'oxygène et d'azote.

L'analyse des mélanges d'oxygène et d'azote se fait par combustion dans notre eudiomètre en opérant comme nous l'avons dit (page 338). Nous nous arrêterons seulement sur les deux cas extrêmes :

1°. Quand le mélange renferme très-peu d'oxygène;

2°. Quand il contient, au contraire, très-peu d'azote.

Lorsque le mélange gazeux renferme très-peu d'oxygène, on n'obtient pas de combustion, ou une combustion incomplète, quand, après l'avoir mélangé d'un excès d'hydrogène, on fait passer l'étincelle électrique. On y ajoute alors une certaine quantité de gaz de la pile, et, après avoir déterminé un mélange homogène en faisant passer plusieurs fois le gaz du mesureur dans le laboratoire, on fait passer l'étincelle; la combustion a lieu d'une manière complète, et la diminution de volume que le mélange a subie donne la somme de l'hydrogène et de l'oxygène qui se sont combinés. Le $\frac{1}{3}$ de cette somme donne l'oxygène, et les $\frac{2}{3}$ l'hydrogène. On n'a aucun compte à tenir du gaz de la pile introduit, parce qu'il disparaît complétement par la combustion. Il est clair, d'ailleurs, qu'il faut toujours s'assurer si le volume de l'hydrogène que l'on a ajouté

Digitized by Google

est plus grand que les $\frac{2}{3}$ du volume disparu ; car s'il en était autrement, c'est qu'il pourrait rester encore une portion d'oxygène dans le résidu gazeux.

Pour préparer le gaz de la pile, nous plaçons de l'eau récemment bouillie, et additionnée d'un peu d'acide sulfurique, dans un gros tube bouché à un bout; nous faisons descendre dans cette eau deux lames de platine qui terminent les deux fils de la pile, lesquels traversent le bouchon obturateur du tube. Ce même tube est traversé par un tube abducteur qui sert à recueillir les gaz sur une cuve à mercure. Quatre couples de Bunsen, moyennement chargés, suffisent pour donner un dégagement abondant de gaz. On laisse le gaz se perdre à travers le mercure, pendant plusieurs heures, afin d'être sûr que l'eau a dissous les deux gaz dans les proportions qui conviennent, sous une atmosphère formée de 1 volume d'oxygène et de 2 volumes d'hydrogène. On recueille alors le gaz dans des cloches. Avant de s'en servir, il faut s'assurer qu'il ne laisse pas de résidu à la combustion. A cet effet, on mesure exactement dans l'eudiomètre un certain volume d'air atmosphérique, on y fait passer un volume à peu près égal de gaz de la pile, et, après avoir opéré le mélange parfait des gaz, on fait passer l'étincelle. Si le gaz de la pile renferme les deux gaz dans les proportions exactes qui constituent l'eau, l'air atmosphérique occupe, après la combustion, exactement le même volume qu'avant.

Lorsque le mélange renferme, au contraire, beaucoup d'oxygène, la combustion se fait toujours facilement, et l'analyse est exacte, pourvu que l'on ait mis un excès d'hydrogène. Mais, lorsqu'on ne connaît pas la composition approchée du gaz, il arrive quelquefois que l'on est obligé d'ajouter une si grande quantité d'hydrogène, qu'on ne peut plus la mesurer en ramenant le gaz au même volume, parce que la colonne de mercure qui lui fait équilibre dépasserait l'extrémité supérieure du tube *cd*. On aurait pu, il est vrai, éviter cet inconvénient en opérant sur

Digitized by Google

une plus petite quantité du mélange à analyser; mais on peut continuer l'analyse en affleurant le mélange de gaz et d'hydrogène à un repère γ plus bas que le repère α. On fait passer l'étincelle électrique après avoir mis le gaz à peu près en équilibre avec la pression extérieure, et l'on mesure la force élastique du résidu, soit au niveau α, soit au niveau γ. Il est facile de déterminer par le calcul, et à l'aide d'une nouvelle mesure faite avec l'appareil, les forces élastiques que présenteraient les mélanges gazeux si, au lieu d'affleurer au niveau γ, on avait constamment affleuré au niveau α. Il arrivera souvent que le résidu gazeux de la combustion, affleuré successivement aux repères α et γ, corresponde à des forces élastiques mesurables sur le tube *cd*. S'il en était autrement, on ferait sortir une portion du gaz, ou l'on ferait entrer un peu d'air atmosphérique, pour que cette condition soit remplie. Soient H′ et H″ les forces élastiques qui correspondent au même gaz lorsqu'il est affleuré successivement aux repères α et γ; H la force élastique du mélange de gaz et d'hydrogène qui, ne pouvant pas être affleuré en α, a été amené au repère γ; x la force élastique que marquerait ce gaz s'il était affleuré au repère α; on aura évidemment

$$x = \mathrm{H} \cdot \frac{\mathrm{H}'}{\mathrm{H}''}.$$

Souvent, on rencontre l'inconvénient inverse : le résidu gazeux est trop petit pour qu'on puisse le mesurer au repère α; on le mesure alors à un repère plus élevé, et on détermine, par un calcul semblable à celui que nous venons d'indiquer, la force élastique que ce gaz présenterait si le niveau était affleuré en α.

On peut aussi éluder la difficulté d'une autre manière. Après avoir fait passer dans le tube laboratoire le résidu gazeux dont le volume est trop petit pour être mesuré au repère ordinaire, on introduit dans le mesureur une certaine quantité d'air, dont on détermine la force élastique

Digitized by Google

après avoir affleuré le mercure au repère α; puis on y fait passer le gaz recueilli dans le laboratoire, et l'on détermine l'accroissement qu'il produit dans la force élastique.

Si la proportion d'azote est très-petite dans le mélange, et si l'on n'a pas mis un grand excès d'hydrogène, il peut se faire que le résidu de la combustion ne puisse être mesuré qu'en le réduisant à un très-petit volume. Il est convenable, dans ce cas, si l'on cherche à obtenir une grande exactitude, de ne regarder cette analyse que comme approximative, et d'en faire une nouvelle dans laquelle on emploiera une plus grande proportion d'hydrogène.

Mélange d'hydrogène et d'azote.

Pour faire l'analyse de ce mélange, on le brûle dans l'eudiomètre avec un excès d'oxygène; le volume de l'hydrogène est alors les $\frac{2}{3}$ du volume disparu. Il est nécessaire de veiller à ce que le volume du gaz détonant ne forme pas plus des 0,8 du résidu gazeux qui reste après la combustion, car, sans cela, il se formerait de l'azotate de mercure (page 350). Il est toujours facile d'éviter cette circonstance en augmentant la quantité d'oxygène, dont l'excès, plus ou moins grand, ne nuit pas d'ailleurs à la précision de l'analyse. On peut aussi faire la combustion en deux fois. On ajoute d'abord une quantité insuffisante d'oxygène, que l'on mesure exactement; on fait passer l'étincelle, et l'on mesure le résidu; on ajoute à celui-ci un excès d'oxygène que l'on détermine rigoureusement, et l'on fait une nouvelle combustion. C'est toujours de cette manière qu'il convient d'opérer lorsque le gaz ne renferme que très-peu d'azote, parce qu'alors on est obligé d'ajouter un grand excès d'oxygène pour pouvoir mesurer le résidu après la combustion. On peut aussi, pour augmenter le résidu, ajouter, au mélange à analyser, de l'air atmosphérique que l'on mesure exactement; puis de l'oxygène, afin d'avoir un excès de ce gaz.

Digitized by Google

Si la proportion d'hydrogène est, au contraire, très-petite, on obtient un mélange inexplosible après l'addition de l'oxygène. Pour obtenir une combustion complète, on ajoute du gaz de la pile.

Mélange d'oxygène et d'hydrogène.

Après avoir mesuré le gaz dans l'eudiomètre, on fait passer une étincelle électrique; les $\frac{2}{3}$ du volume disparu sont de l'hydrogène, et l'oxygène est le $\frac{1}{3}$ de ce volume. Le résidu gazeux est de l'oxygène ou de l'hydrogène. Il suffit de s'assurer de sa nature. Si ce résidu était trop petit pour être mesuré, il faudrait, après s'être assuré de sa nature, faire une seconde analyse en ajoutant au mélange un excès de l'un ou de l'autre gaz, que l'on mesurerait exactement, ou employer l'artifice que nous avons décrit (page 363).

Mélange d'azote, d'oxygène et d'hydrogène.

Ce mélange s'analyse comme le précédent; seulement, après avoir déterminé une première combustion par l'étincelle électrique, et s'être assuré s'il reste de l'hydrogène ou de l'oxygène dans le résidu, on ajoute un excès du gaz qui y manque, et l'on fait une nouvelle combustion, après addition de gaz de la pile, si cela est nécessaire. On prend, d'ailleurs, les mêmes précautions que dans l'analyse du mélange d'oxygène et d'hydrogène; mais il faut veiller, en outre, à ce que, dans l'une ou l'autre de ces combustions, si elle a lieu en présence d'un excès d'oxygène, le volume du gaz détonant ne forme jamais plus des 0,8 du résidu qui reste après la combustion; autrement, on aurait des produits nitreux. Il est toujours facile d'éviter cet inconvénient en ajoutant une certaine quantité d'air atmosphérique dont on tient compte.

Mélange d'oxygène et d'oxyde de carbone.

On fait passer l'étincelle électrique et l'on mesure le résidu; on fait rendre ensuite celui-ci dans le laboratoire,

Digitized by Google

au contact de la dissolution de potasse, et, par l'absorption qui se produit, on a l'acide carbonique formé. Or, 1 volume d'oxyde de carbone consomme $\frac{1}{2}$ volume d'oxygène, et donne 1 volume d'acide carbonique. Ainsi, le volume cherché de l'oxyde de carbone est précisément égal à celui de l'acide carbonique trouvé; il est aussi le double de la diminution de volume que le gaz a éprouvée par la combustion.

Si la proportion d'oxyde de carbone est petite, il y a combustion incomplète ou absence de combustion; il faut alors ajouter du gaz de la pile. L'addition de ce gaz est utile dans tous les cas, parce que la chaleur dégagée par la combustion de l'oxyde de carbone n'étant pas très-considérable, la combustion est souvent incomplète.

Mélange d'azote et d'oxyde de carbone.

On ajoute à ce mélange un excès d'oxygène que l'on mesure exactement, puis une certaine quantité de gaz de la pile, et l'on fait détoner; le volume de l'oxyde de carbone est le double de celui qui disparaît par la combustion, et il est égal au volume de l'acide carbonique formé, que l'on détermine rigoureusement en l'absorbant par la potasse. Il faut veiller seulement à ce que le mélange combustible ne soit pas en assez forte proportion, par rapport au gaz inerte, pour qu'il se forme des produits nitreux. Cet inconvénient n'est bien à craindre que lorsqu'on a ajouté beaucoup de gaz de la pile, parce qu'alors la température s'élève assez pour produire une abondante volatilisation de mercure. On l'évite, dans tous les cas, en ajoutant au gaz une quantité convenable d'air atmosphérique, dont on tient compte dans le calcul de l'expérience.

Mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

On ajoute à ce mélange un volume d'oxygène un peu plus grand que le sien; on fait détoner, et l'on note l'absorption m; enfin, on absorbe l'acide carbonique par la

Digitized by Google

potasse. Soient n le volume de l'acide carbonique que l'on trouve ainsi, x la proportion d'hydrogène, z celle de l'oxyde de carbone. L'hydrogène, en brûlant, consomme son demi-volume d'oxygène; ainsi, par suite de la combustion du gaz hydrogène, il y a une diminution de volume $\frac{3}{2}x$. L'oxyde de carbone consomme son demi-volume d'oxygène et produit un volume d'acide carbonique égal au sien; l'absorption produite par la combustion de ce gaz est donc $\frac{1}{2}z$. Ainsi on a

$$\frac{3}{2}x + \frac{1}{2}z = m,$$

$$z = n,$$

d'où

$$x = \frac{2m - n}{3}.$$

Il est nécessaire d'ajouter un volume considérable d'oxygène, afin qu'il reste, après l'explosion, assez de gaz pour que sa mesure puisse se faire avec précision. Si le mélange primitif renfermait très peu d'hydrogène, il serait prudent, après la combustion, d'introduire du gaz de la pile, et de faire détoner de nouveau, afin d'être sûr que l'oxyde de carbone est entièrement brûlé.

Mélange d'azote, d'oxygène et d'oxyde de carbone.

Si ce mélange renferme beaucoup d'azote, peu d'oxyde de carbone et une quantité d'oxygène plus que suffisante pour changer l'oxyde de carbone en acide carbonique, on ajoute du gaz de la pile au mélange, et l'on fait détoner. Soit m l'absorption produite par la combustion; on détermine le volume n d'acide carbonique formé. Soient V le volume du mélange primitif, y le volume d'oxygène, z celui de l'oxyde de carbone, enfin u celui de l'azote, on aura d'abord les deux équations

$$z = n,$$

$$\frac{z}{2} = m, \quad \text{d'où } n = 2m,$$

Digitized by Google

qui devront donner la même valeur pour z; ce qui prouvera que c'était bien de l'oxyde de carbone qui existait dans le mélange.

On ajoute alors un excès d'hydrogène, et une certaine quantité de gaz de la pile si l'on suppose qu'il ne reste que peu d'oxygène dans le mélange; soit m' la nouvelle absorption qui a lieu par la combustion, on aura

$$y = \frac{n}{2} + \frac{m'}{3},$$

$$u = V - y - z = V - \frac{3n}{2} - \frac{m'}{3}.$$

Si l'oxyde de carbone domine par rapport à l'oxygène, il faut ajouter immédiatement un excès d'oxygène a, et l'on a alors, en conservant les mêmes notations que ci-dessus :

$$z = n,$$

$$z = 2m,$$

$$y = \frac{n}{2} + \frac{m'}{3} - a,$$

$$u = V - y - z = V - 3m - \frac{m'}{3} + a.$$

Si l'azote était en très-petite quantité, il faudrait ajouter à la première combustion une grande quantité d'oxygène dans le cas où l'oxyde de carbone serait dominant, et à la seconde combustion, un grand excès d'hydrogène, afin d'avoir, après chacune de ces combustions, un résidu gazeux assez considérable pour que sa mesure se fasse avec précision dans l'appareil. Si l'une ou l'autre de ces combustions paraît faible, il faut introduire du gaz de la pile, et s'assurer si le volume change par une nouvelle explosion.

Mélange d'azote, d'oxygène, d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

Il peut se présenter plusieurs cas avec ce mélange, suivant que l'un ou l'autre gaz domine. Nous supposerons d'abord que l'oxygène y existe en quantité plus grande

Digitized by Google

que celle qui est nécessaire pour brûler complétement l'hydrogène et l'oxyde de carbone; on fera immédiatement la combustion par l'étincelle, si le mélange combustible forme une proportion considérable du gaz inerte; s'il en était autrement, on ne ferait passer l'étincelle qu'après avoir ajouté du gaz de la pile. Soient m le volume disparu dans cette combustion, x le volume de l'hydrogène; enfin, conservons pour les autres gaz les mêmes notations que ci-dessus, nous aurons

$$\frac{3}{2}x + \frac{1}{2}z = m.$$

On absorbe l'acide carbonique par la potasse. Soit n le volume du gaz disparu; on aura

$$z = n.$$

On introduit maintenant un excès d'hydrogène, on fait détoner et l'on observe une nouvelle absorption m'; d'où

$$y = \frac{m'}{3} + \frac{z}{2} + \frac{x}{2},$$

enfin,

$$u = \mathrm{V} - x - y - z.$$

On déduit de là :

$$x = \frac{2m - n}{3};$$

$$y = \frac{m + m' + n}{3},$$

$$z = n,$$

$$u = \mathrm{V} - \frac{3m + m' + 3n}{3}.$$

On peut obtenir une vérification de la quantité u, en faisant détoner, avec un excès d'hydrogène, le dernier résidu gazeux qui se compose seulement d'azote et d'oxygène.

Si l'oxygène existe dans le mélange en quantité insuffisante pour brûler complétement l'hydrogène et l'oxyde de carbone, on en ajoute une certaine quantité a, et l'on

Digitized by Google

regarde momentanément le nouveau mélange comme celui qu'il s'agit d'analyser; les équations du cas précédent s'y appliquent par conséquent, et il suffit, à la fin de l'analyse, de diminuer l'oxygène y, de la quantité a qu'on avait ajoutée.

Enfin, si l'azote était en très-petite proportion, on opérerait de la même manière; il suffirait seulement, avant chaque combustion, d'ajouter un assez grand excès du gaz qui doit la produire, afin que le résidu gazeux fût assez considérable pour être mesuré exactement et facilement dans l'appareil. On peut aussi, dans ce cas, ajouter au mélange primitif une certaine quantité d'air atmosphérique dont on tient compte dans le calcul final.

Mélange d'oxygène et d'hydrogène protocarboné.

Nous supposerons que l'oxygène est en quantité plus que suffisante pour brûler complétement l'hydrogène protocarboné; si cela n'était pas, on ajouterait une quantité a d'oxygène dont on tiendrait ensuite compte dans le calcul. On fera passer l'étincelle électrique. Soit m l'absorption produite : on détermine ensuite l'absorption n par la potasse.

1 volume d'hydrogène protocarboné consomme 2 volumes d'oxygène et donne 1 volume d'acide carbonique. Soit v le volume d'hydrogène protocarboné; on aura

$$2v = m,$$
$$v = n.$$

Ces deux relations doivent donner la même valeur de v, si le gaz est de l'hydrogène protocarboné.

Mélange d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

On ajoutera à ce mélange un grand excès d'oxygène pour que, après la combustion et l'absorption de l'acide carbonique, il reste un volume qui puisse être mesuré exactement dans l'appareil. On fera passer l'étincelle électrique, et l'on notera une absorption m; puis on absorbera l'acide

Digitized by Google

carbonique par la potasse. Désignons toujours l'hydrogène par x, l'hydrogène protocarboné par v, et par n l'acide carbonique formé; nous aurons

$$\frac{3}{2}x + 2v = m,$$

$$v = n,$$

d'où

$$x = \frac{2m - 4n}{3}.$$

et, comme vérification,

$$V = x + v.$$

On obtient une autre vérification en déterminant la quantité a d'oxygène consommée dans la combustion. On a alors

$$\frac{x}{2} + 2v = a;$$

on en déduit l'équation de condition

$$V + a = m + n,$$

qui existe d'ailleurs pour les hydrogènes carbonés, leurs mélanges avec l'hydrogène, les mélanges d'hydrogène et d'oxyde de carbone, et, par suite, pour tous les mélanges de ces divers gaz.

Mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène protocarboné.

On fait détoner ce mélange avec un grand excès d'oxygène, afin de pouvoir mesurer exactement le dernier résidu gazeux; on observe une diminution de volume m, et, par la potasse, on constate qu'il s'est formé une quantité n d'acide carbonique. Soient toujours z et v les proportions d'oxyde de carbone et d'hydrogène; nous aurons

$$\frac{z}{2} + 2v = m,$$

$$z + v = n,$$

Digitized by Google

d'où

$$z = \frac{4n - 2m}{3}, \quad v = \frac{2m - n}{3},$$

et, comme vérification,

$$V = z + v.$$

Si l'on détermine la quantité a d'oxygène qui a disparu, on a

$$\frac{z}{2} + 2v = a;$$

on en déduit encore

$$V + a = m + n.$$

On peut aussi ajouter au gaz une certaine quantité k d'air atmosphérique, puis un excès d'oxygène, en évitant de se trouver dans les circonstances où il peut se former des produits nitreux; mais la première méthode est préférable.

Mélange d'azote, d'oxygène et d'hydrogène protocarboné.

On ajoute au mélange une quantité b d'oxygène afin que ce gaz soit en excès, on fait détoner et l'on note la diminution de volume m; on détermine par la potasse le volume n de l'acide carbonique produit. On a alors, en conservant les mêmes notations,

$$2v = m,$$
$$v = n,$$
$$V = y + v + u.$$

On détermine ensuite, au moyen d'une combustion avec un excès d'hydrogène, la quantité y' d'oxygène qui se trouve dans le résidu. Si m' représente la diminution de volume qui a lieu par cette combustion, on a

$$y' = \frac{m'}{3}.$$

On a d'ailleurs, pour la quantité a d'oxygène consommée dans la première combustion,

$$2v = a,$$

Digitized by Google

par suite,

$$y = a + y' - b = a + \frac{m'}{3} - b.$$

On déduit de là

$$v = \frac{m}{2} = n,$$

$$y = a + \frac{m'}{3} - b,$$

$$u = V + b - a - \frac{m'}{3} - n.$$

Mélange d'azote, d'oxygène, d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

Ce mélange se présente fréquemment dans les gaz de la respiration; l'azote est alors très-dominant, l'oxygène est en quantité beaucoup plus grande que celle qui est nécessaire pour brûler complétement les gaz combustibles, mais le mélange n'est pas explosible. On ajoute du gaz de la pile, et l'on observe la diminution de volume m qui en résulte. On détermine ensuite la quantité n d'acide carbonique formé. Ces deux premières opérations donnent

$$\frac{3}{2}x + 2v = m,$$

$$v = n,$$

d'où

$$x = \frac{2m - 4n}{3}.$$

La quantité y' d'oxygène consommée par cette combustion est

$$y' = \frac{x}{2} + 2v = \frac{m + 4n}{3}.$$

Après ces opérations, il reste un mélange de y'' d'oxygène et de u d'azote rapportés au volume primitif, que l'on analyse en procédant comme nous l'avons dit (page 338). La quantité totale y d'oxygène contenue dans le mélange est

$$y = y' + y''.$$

Digitized by Google

Pour plus de sûreté, on détermine directement, par les méthodes d'absorption, sur une autre portion du gaz primitif, la quantité totale y d'oxygène contenue dans le gaz. On obtient ainsi une vérification qui prouve que le mélange combustible est bien formé d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

Si l'oxygène contenu dans le mélange n'était pas suffisant pour brûler complétement l'hydrogène et l'hydrogène protocarboné, on y ajouterait une certaine quantité a d'oxygène dont on tiendrait compte à la fin de l'expérience, et l'on appliquerait à ce nouveau mélange le procédé que nous venons d'indiquer.

Mélange d'azote, d'oxygène, d'oxyde de carbone, d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

Nous supposerons encore ici que l'oxygène est en quantité suffisante pour brûler complétement tous les gaz combustibles, car, s'il en était autrement, on ajouterait une quantité suffisante d'oxygène, et l'on considérerait le nouveau mélange comme le gaz primitif.

On fera détoner le mélange dans l'eudiomètre, soit seul, soit après addition de gaz de la pile; on notera l'absorption m, puis on déterminera la quantité n d'acide carbonique produit; on aura alors

$$(1) \qquad \frac{z}{2} + \frac{3x}{2} + 2v = m,$$

$$(2) \qquad z + v = n,$$

$$(3) \qquad y' = \frac{z}{2} + \frac{x}{2} + 2v.$$

Le gaz qui reste après ces opérations se compose seulement d'azote et d'oxygène, dont on détermine les quantités u et y'' que l'on peut regarder dès à présent comme fixées.

Enfin, sur une nouvelle quantité du mélange gazeux primitif, on détermine, par les méthodes d'absorption, la quan-

Digitized by Google

tité totale y d'oxygène qui s'y trouve ; on a alors

(4) $$y' = y - y''.$$

Les équations (1), (2), (3) suffisent alors pour calculer les trois quantités x, z et v qui restent seules inconnues ; elles donnent

$$x = m - y', \quad v = y' - \frac{m+n}{3}, \quad z = \frac{m+4n}{3} - y'.$$

Mélange d'oxygène et d'hydrogène bicarboné.

Si ce mélange ne contient pas d'oxygène en quantité suffisante, on en ajoutera de telle sorte, qu'après l'explosion et l'absorption de l'acide carbonique par la potasse, il reste un résidu d'oxygène assez grand pour pouvoir être mesuré exactement. Il est d'ailleurs nécessaire qu'il se trouve dans le mélange une proportion considérable de gaz inerte, sans quoi le tube eudiométrique pourrait être brisé par la violence de l'explosion. Si la proportion d'hydrogène bicarboné est très-grande, il est préférable de mesurer d'abord dans l'appareil une certaine quantité d'air atmosphérique, d'y introduire ensuite le gaz à analyser, et, si cela est nécessaire, une certaine quantité d'oxygène, mais insuffisante pour brûler complétement le gaz combustible. Après avoir déterminé l'explosion, qui est beaucoup moins vive que si la combustion était complète, on introduit un excès d'oxygène que l'on mesure exactement, et l'on enflamme de nouveau le mélange pour achever la combustion : si cette dernière était faible, il serait prudent de faire passer de nouveau l'étincelle après avoir ajouté du gaz de la pile. Soient m le volume disparu dans ces combustions successives, et n le volume de l'acide carbonique que l'on absorbe par la potasse. 1 volume d'hydrogène bicarboné consommant 3 volumes d'oxygène et produisant 2 volumes d'acide carbonique, on a, en désignant par w le volume de l'hydrogène bicarboné,

$$2w = m,$$
$$2w = n, \quad \text{d'où} \quad m = n.$$

Digitized by Google

Dans la dernière manière d'opérer, on risque moins de faire éclater l'eudiomètre; on évite d'ailleurs facilement la formation des produits nitreux, car elle ne pourrait avoir lieu que dans la seconde combustion, et celle-ci dégage en général peu de chaleur.

Mélange d'hydrogène et d'hydrogène bicarboné.

Pour analyser ce mélange, lorsque l'hydrogène bicarboné y est en petite quantité, il suffit de le mêler à un grand excès d'oxygène, de faire détoner, et de déterminer le volume du gaz disparu par l'étincelle, et celui de l'acide carbonique que dissout la potasse. La seule précaution à prendre, c'est d'ajouter assez d'oxygène pour que le dernier résidu gazeux puisse être mesuré. On a alors

$$\frac{3x}{2} + 2w = m, \qquad \text{d'où} \qquad w = \frac{n}{2},$$

$$2w = n, \qquad x = \frac{2}{3}(m - n).$$

Si l'hydrogène bicarboné était en très-forte proportion, il vaudrait mieux opérer la combustion en deux fois, et au milieu de l'air atmosphérique. Dans ce cas, on mesure d'abord une certaine quantité d'air atmosphérique, à laquelle on ajoute le gaz à analyser dont on détermine rigoureusement le volume, puis une quantité d'oxygène telle, qu'avec l'oxygène contenu dans l'air, il n'y ait pas assez de ce gaz pour opérer une combustion complète. On fait passer l'étincelle électrique, puis on ajoute un excès d'oxygène avec un peu de gaz de la pile si on le juge utile, et on enflamme une seconde fois le mélange.

On obtient une vérification de l'analyse en déterminant la quantité d'oxygène qui reste, après ces combustions, dans l'eudiomètre. On connaît alors la quantité totale y d'oxygène consommé, et on doit avoir la relation

$$y = \frac{x}{2} + 3w.$$

Digitized by Google

Cette vérification est utile dans tous les cas; elle est indispensable lorsqu'on n'est pas certain que le mélange gazeux se compose seulement d'hydrogène et d'hydrogène bicarboné.

Mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fera de la même manière que dans le cas précédent, et en prenant des précautions analogues. Les relations qui donnent les proportions des deux gaz sont

$$\frac{z}{2} + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad z = 2(n - m),$$

$$z + 2w = n, \qquad w = m - \frac{n}{2}.$$

Si a représente le volume de l'oxygène consommé, on a encore les relations suivantes :

$$z + w = V,$$

$$\frac{z}{2} + 3w = a, \quad \text{d'où} \quad V + a = m + n.$$

Mélange d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fera comme dans les cas précédents. On aura les relations

$$2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad v = 2(n - m),$$

$$v + 2w = n, \qquad w = \frac{2m - n}{2},$$

auxquelles il faut ajouter les relations suivantes, desquelles on déduit des vérifications,

$$v + w = V,$$
$$2v + 3w = a,$$

qui donnent encore

$$V + a = m + n.$$

Digitized by Google

Mélange d'hydrogène, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fait comme dans le cas précédent, mais il est nécessaire de déterminer le volume a de l'oxygène consommé dans les combustions; on a alors

$$\frac{3x}{2} + 2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad x = 2(m + 2n - 2a),$$

$$v + 2w = n, \qquad v = 6a - 7n - 2m,$$

$$\frac{x}{2} + 2v + 3w = a, \qquad w = m + 4n - 3a.$$

Il ne reste qu'une seule vérification donnée par la relation

$$V = x + v + w,$$

mais qui se réduit à l'équation de condition

$$V + a = m + n.$$

Mélange d'oxygène, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fera comme dans les cas précédents; on aura

$$2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad v = m - n,$$

$$v + 2w = n, \qquad w = \frac{2n - m}{2},$$

$$y + v + w = V, \qquad y = V - \frac{m}{2}.$$

On obtiendra une vérification en déterminant la portion a de l'oxygène ajouté qui a servi à la combustion; ce qui donnera la relation

$$2v + 3w = a + y,$$

mais celle-ci conduit à l'équation de condition

$$V + a = m + n.$$

Digitized by Google

Mélange d'azote, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fera comme dans les cas précédents; on aura les relations

$$2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad v = m - n,$$

$$v + 2w = n, \qquad w = \frac{2n - m}{2},$$

$$u + v + w = V, \qquad u = V - \frac{m}{2},$$

avec une vérification donnée par la relation

$$2v + 3w = a,$$

qui se réduit à

$$V + a = m + n + u.$$

Mélange d'azote, d'oxygène, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fera de la même manière, en ayant soin de déterminer, à la fin de l'expérience, la portion a de l'oxygène ajouté qui a disparu dans les combustions; les relations sont les suivantes :

$$2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad v = m - n,$$

$$v + 2w = n, \qquad w = \frac{2n - m}{2},$$

$$2v + 3w - y = a, \qquad y = \frac{1}{2}m + n - a,$$

$$y + u + v + w = V, \qquad u = V + a - m - n.$$

L'analyse eudiométrique ne fournit pas de vérification, mais on peut déterminer directement la quantité y par les méthodes d'absorption.

Mélange d'oxygène, d'hydrogène, d'hydrogène protocarboné et d hydrogène bicarboné.

L'analyse se fait encore comme dans les cas précédents,

Digitized by Google

et on a les relations

$$(1) \qquad \frac{3x}{2} + 2v + 2w = m,$$

$$(2) \qquad v + 2w = n,$$

$$(3) \qquad \frac{x}{2} + 2v + 3w - y = a,$$

$$(4) \qquad x + y + v + w = \mathrm{V}.$$

Ces quatre relations ne suffisent pas pour déterminer les quatre inconnues; il est facile de voir, en effet, que l'une d'entre elles est une conséquence des trois autres, à cause d'une relation particulière introduite par les données du problème. En effet, si l'on ajoute (3) et (4), on a

$$\frac{3x}{2} + 3v + 4w = \mathrm{V} + a,$$

qui devient, à cause de (2),

$$\frac{3}{2}x + 2v + 2w = \mathrm{V} + a - n.$$

On a donc, par suite de la composition chimique des gaz mélangés, l'équation de condition

$$\mathrm{V} + a - n = m, \quad \text{ou} \quad \mathrm{V} + a = m + n,$$

qui fait rentrer l'équation (1) dans les trois autres.

Pour résoudre la question, il faut déterminer directement la quantité y d'oxygène par les méthodes d'absorption; on a alors, pour déterminer les trois autres inconnues,

$$\frac{3x}{2} + 2v + 2w = m, \qquad \text{d'où} \quad x = 2(m + 2n - 2a - 2y),$$

$$v + 2w = n, \qquad v = 6a + 6y - 7n - 2m,$$

$$\frac{x}{2} + 2v + 3w = a + y, \qquad w = m + 4n - 3a - 3y.$$

Mélange d'oxygène, d'oxyde de carbone, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse se fait comme dans les cas précédents; on en

Digitized by Google

déduit les relations

$$\frac{z}{2} + 2v + 2w = m,$$
$$z + v + 2w = n,$$
$$\frac{z}{2} + 2v + 3w - y = a,$$
$$z + y + v + w = V.$$

Ces quatre équations ne suffisent pas pour déterminer les inconnues, parce qu'elles sont liées entre elles par la condition

$$V + a = m + n.$$

Il faut déterminer directement la quantité y d'oxygène par les méthodes d'absorption.

On a alors :

$$w = a + y - m,$$
$$z = \frac{2}{3}(2n + m - 2a - 2y),$$
$$v = \frac{1}{3}(4m - n - 2a - 2y).$$

Mélange d'oxygène, d'azote, d'oxyde de carbone, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

Les opérations analytiques ayant été conduites comme dans les cas précédents, l'oxygène $y = b$ ayant été déterminé directement par les méthodes d'absorption, enfin la quantité totale a' d'oxygène consommé dans les combustions ayant été fixée également, on a les relations

$$\frac{z}{2} + 2v + 2w = m, \quad \text{d'où} \quad y = b,$$
$$z + v + 2w = n, \qquad z = \frac{2}{3}(m + 2n - 2a')$$
$$\frac{z}{2} + 2v + 3w = a', \qquad v = \frac{1}{3}(4m - n - 2a'),$$
$$z + y + u + v + w = V, \qquad w = a' - m.$$
$$u = (V - b) + a' - (m + n),$$

L'analyse eudiométrique ne fournit pas de vérification.

Digitized by Google

Mélange d'oxygène, d'hydrogène, d'oxyde de carbone, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

L'analyse ayant été faite comme précédemment, l'oxygène $y = b$ ayant été dosé par les réactifs absorbants, enfin la quantité totale a' de l'oxygène consommé ayant été déterminée également, on a les relations

$$\frac{3x}{2} + \frac{z}{2} + 2v + 2w = m,$$

$$z + v + 2w = n,$$

$$\frac{x}{2} + \frac{z}{2} + 2v + 3w = a',$$

$$x + z + v + w = \mathrm{V} - b.$$

Ces quatre équations ne suffisent pas pour déterminer les quatre inconnues x, z, v et w, parce que les constantes sont liées entre elles par la relation

$$m + n = (\mathrm{V} - b) + a',$$

qui réduit ces équations à trois réellement distinctes. Il faut donc chercher expérimentalement une nouvelle relation entre les inconnues. On en obtiendrait une en déterminant exactement la pesanteur spécifique D du mélange. En désignant par d_x, d_y, d_z, d_v, d_w les densités respectives de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène protocarboné et de l'hydrogène bicarboné, on a la relation

$$\mathrm{D} = xd_x + yd_y + zd_z + vd_v + wd_w.$$

Cette nouvelle équation, ajoutée aux quatre premières, rend le problème *algébriquement* déterminé.

On peut aussi brûler une quantité déterminée du mélange gazeux par l'oxyde de cuivre et peser l'eau formée, en employant la disposition d'appareil que l'un de nous a indiquée (*Cours élémentaire de Chimie*, par M. V. Regnault, 2e édit., tome IV, § 1214). Soient p le poids de l'eau obtenue,

Digitized by Google

W le volume du gaz que l'on a brûlé par l'oxyde de cuivre, t et H sa température et sa pression au moment où on l'a mesuré; le poids du gaz brûlé est

$$W.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,t}.\frac{H}{760},$$

et le rapport du poids de l'eau formée au poids du gaz brûlé sera

$$\frac{p}{W.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,t}.\frac{H}{360}}.$$

Soient, d'un autre côté, U le volume constant auquel on a ramené le gaz dans l'analyse eudiométrique, θ la température également constante de l'eau du manchon, la force élastique du gaz primitif étant V, on a, pour le poids de ce gaz,

$$U.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,\theta}.\frac{V}{760}.$$

Si π désigne le poids de l'eau que ce gaz donnerait par sa combustion complète, on aurait, pour le rapport entre ce poids et celui du gaz,

$$\frac{\pi}{U.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,\theta}.\frac{V}{760}},$$

on a donc

$$\frac{p}{W.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,t}.\frac{H}{760}}$$

$$=\frac{\pi}{U.0,001293.D.\frac{1}{1+0,00367\,\theta}.\frac{V}{760}},$$

ou simplement

$$\frac{p}{W.\frac{1}{1+0,00367\,t}.H}=\frac{\pi}{U.\frac{1}{1+0,00367\,\theta}.V},$$

d'où

$$\pi=p.\frac{U}{W}.\frac{1+0,00367\,t}{1+0,00367\,\theta}.\frac{V}{H}.$$

Digitized by Google

Or le poids de cette eau est également exprimé par

$$U.0,001293.0,622.\frac{1}{1+0,00367\,\theta}.\frac{\frac{3x}{2}+v+w}{760},$$

on a donc

$$\frac{3x}{2}+v+w=\frac{\pi.760(1+0,00367\,\theta)}{U.0,001293.0,622}.$$

C'est la nouvelle relation que l'on peut introduire dans le calcul.

Mélange d'oxygène, d'azote, d'hydrogène, d'oxyde de carbone, d'hydrogène protocarboné et d'hydrogène bicarboné.

C'est le mélange le plus compliqué que nous ayons à considérer. L'analyse eudiométrique s'en fera ainsi que nous l'avons dit pour les cas précédents ; on déterminera directement la quantité $y=b$ d'oxygène par les moyens absorbants; enfin, on fera la combustion d'une certaine quantité de gaz par l'oxyde de cuivre pour déterminer le poids de l'eau formée. On peut recueillir également et doser l'acide carbonique qui se produit dans cette combustion; cela ne fournit pas une nouvelle relation, mais seulement une vérification de la quantité d'acide carbonique n trouvée dans l'analyse eudiométrique. Les relations dont on dispose maintenant sont les suivantes :

$$y=b,$$

$$\frac{3x}{2}+\frac{z}{2}+2v+2w=m,$$

$$z+v+2w=n,$$

$$\frac{x}{2}+\frac{z}{2}+2v+3w=a',$$

$$x+z+u+v+w=V-b,$$

$$\frac{3x}{2}+v+w=\frac{\pi.760(1+0,00367\,\theta)}{U.0,001293.0,622}=A,$$

auxquelles on peut ajouter, si l'on a déterminé la densité D

Digitized by Google

du mélange gazeux, la relation

$$x d_x + y d_y + z d_z + u d_u + v d_v + w d_w = \mathrm{D}.$$

Le problème est ainsi *algébriquement* déterminé. Si chacune des déterminations numériques était faite avec une *précision mathématique*, les valeurs des inconnues déduites par le calcul seraient *rigoureuses*. Mais, quelque soin que l'on apporte dans les opérations, chacune de ces déterminations comporte une petite erreur. Or il est facile de s'assurer qu'en faisant varier d'une très-petite quantité chacune des données expérimentales b, m, n, a', V, A et D, les valeurs des inconnues varient *souvent* de quantités beaucoup plus grandes ; et, en faisant certaines hypothèses, *convenablement choisies*, sur la composition du mélange gazeux, on reconnaît qu'en appliquant aux formules des données numériques très-peu différentes, la composition calculée du mélange gazeux varie souvent entre des limites très-étendues. Cette observation s'applique particulièrement à la relation que donne la densité du mélange gazeux, parce que celui-ci se compose de gaz dont les densités individuelles ne sont, en général, que peu différentes. Aussi, convient-il de n'employer cette relation qu'avec beaucoup de circonspection.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, que l'on connaissait la nature des gaz élémentaires qui composent le mélange ; la question devient beaucoup plus difficile quand on ne possède pas cette connaissance. Le plus souvent, ce n'est que par l'analyse elle-même que l'on peut y parvenir ; il faut alors y apporter le plus grand soin, la répéter plusieurs fois, et s'assurer si les équations de condition qui existent souvent entre les données expérimentales, et que nous avons rapportées dans chaque cas, sont satisfaites. Si les données expérimentales étaient *mathématiquement exactes*, on pourrait leur appliquer immédiatement les formules qui conviennent au mélange le plus complexe ;

Digitized by Google

le calcul donnerait des valeurs nulles pour les gaz qui n'existent pas dans le mélange. Mais, comme ces données comportent de petites erreurs, on trouvera ordinairement de petites valeurs pour ces gaz qui n'existent pas. L'expérimentateur devra alors discuter avec beaucoup de soin ces petites valeurs, et surtout les équations de condition qui existent souvent entre les données numériques, afin de reconnaître si les équations ne seraient pas rigoureusement satisfaites par les données expérimentales, après avoir altéré celles-ci de quantités égales aux limites des erreurs que chacune d'elles comporte. C'est aussi le cas de ne négliger aucun des moyens d'analyse par absorption que nous avons indiqués, page 356, en discutant toutefois les erreurs que chacun d'eux a pu produire sur le résidu gazeux, par l'action dissolvante que les réactifs exercent sur les gaz qui composent ce résidu. Enfin, si l'on a de grandes quantités de gaz à sa disposition, on peut, en le soumettant à des réactions chimiques convenablement choisies, obtenir quelque lumière sur la nature des gaz composants.

ANALYSE DE L'ATMOSPHÈRE GAZEUSE QUI REMPLIT NOTRE CLOCHE A LA FIN D'UNE EXPÉRIENCE SUR LA RESPIRATION.

Le gaz qui reste dans notre appareil à la fin d'une expérience sur la respiration, se compose d'acide carbonique, d'oxygène, d'azote et souvent d'une petite quantité de gaz combustible donnant, par combustion, de l'eau et de l'acide carbonique. Quelquefois, ce gaz combustible est de l'hydrogène pur, et alors il ne peut y avoir de doute sur sa nature; mais, le plus souvent, il donne, à la fois, par sa combustion avec l'oxygène, de l'eau et de l'acide carbonique. D'après ce caractère seul, le gaz pourrait être, ou de l'hydrogène protocarboné, ou de l'hydrogène bicarboné, ou un mélange de l'un ou l'autre de ces gaz avec l'hydrogène, ou un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone, ou, enfin, des mélanges plus complexes de ces divers gaz. Si le gaz combustible se trouvait en proportion considé-

Digitized by Google

rable dans le mélange, les résultats mêmes de l'analyse décideraient la question; mais il s'y trouve ordinairement en quantité très-faible, et alors les petites erreurs inévitables de l'analyse influent notablement sur les équations de condition.

Nous avons admis que le gaz combustible était formé par des mélanges variables d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné, dans lesquels l'un ou l'autre de ces gaz est quelquefois en quantité inappréciable; les raisons en sont les suivantes:

1°. Nous avons trouvé fréquemment du gaz hydrogène pur; et, le plus souvent, l'hydrogène est en quantité plus grande que celle qui constituerait avec le carbone de l'hydrogène protocarboné. Il n'est donc pas douteux que l'animal ne dégage souvent de l'hydrogène libre. Ce fait est clairement démontré par l'expérience 35, et par cette circonstance, que plusieurs expérimentateurs ont trouvé des proportions notables d'hydrogène dans les gaz intestinaux (page 427).

2°. Le gaz combustible n'a jamais donné, par sa combustion, d'acide carbonique sans qu'il y eût en même temps formation d'eau; il ne se compose donc jamais d'oxyde de carbone pur.

3°. On n'a jamais constaté jusqu'ici la présence de l'hydrogène bicarboné dans les gaz dégagés par les matières végétales et animales en décomposition, tandis que l'hydrogène protocarboné s'y produit constamment en grande quantité : exemple, le gaz des marais.

4°. Enfin, dans toutes les expériences où les proportions d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné ont été, toutes deux, un peu notables, le volume disparu par la combustion, celui de l'acide carbonique formé, et le volume de l'oxygène consommé par cette combustion, ont été, à très-peu près, dans les rapports qui conviennent à un mélange d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné.

Digitized by Google

L'analyse du gaz qui restait dans notre appareil, après la respiration d'un animal dans de l'air normal, se faisait donc de la manière suivante :

On opérait d'abord l'absorption de l'acide carbonique comme nous l'avons dit (page 337); puis on ajoutait au gaz restant une certaine quantité de gaz de la pile, et on faisait détoner. On mesurait l'absorption, et on déterminait la quantité d'acide carbonique formé; enfin, on ajoutait un excès d'hydrogène et on déterminait, par combustion, ce qui restait d'oxygène.

Le lecteur se fera facilement une idée, d'après ce que nous avons dit (pages 361 et 365), des modifications qu'il fallait apporter à ce procédé quand la respiration avait eu lieu dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène que notre atmosphère terrestre, ou dans une atmosphère composée d'oxygène et d'hydrogène.

EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES.

La disposition de l'appareil que nous avons décrit (p. 310 et suivantes) nous paraissait très-propre à décider si, dans la perspiration des animaux, il y avait dégagement ou absorption d'azote. Si l'azote restait constant, ou ne subissait que de faibles variations par le séjour de l'animal, l'appareil nous permettait également d'étudier, avec précision, les diverses circonstances de la respiration dans l'air normal. Il faudrait, au contraire, le modifier notablement, si le dégagement ou l'absorption d'azote était considérable. Avant de faire construire l'appareil définitif qui devait occasionner une assez grande dépense, nous avons jugé nécessaire de faire quelques expériences préliminaires, sous le point de vue unique du dégagement ou de l'absorption d'azote.

Nous avons d'abord opéré sur de petits animaux, tels que souris, cochons d'Inde, petits oiseaux. Ces animaux étaient enfermés dans une cage que l'on suspendait dans

Digitized by Google

l'intérieur d'une cloche tubulée, de 15 à 20 litres de capacité, dont l'ouverture inférieure était mastiquée sur un obturateur, et dont la tubulure supérieure portait une monture métallique qui permettait d'établir une communication entre l'intérieur de la cloche, les pipettes à oxygène et un petit manomètre à mercure. Sur le fond de la cloche était placée une large cuvette renfermant une dissolution de potasse caustique destinée à absorber l'acide carbonique.

Une circonstance particulière s'est présentée dans ces expériences. Les animaux paraissaient très-souffrants au bout de vingt-quatre heures, et ils s'asphyxiaient complétement si l'expérience durait plus longtemps. Nous en avions d'abord conclu qu'il y avait un dégagement considérable d'azote; mais, ayant soumis le gaz à l'analyse, nous avons trouvé qu'il renfermait de grandes quantités d'hydrogène. Nous ne tardâmes pas à reconnaître que le dégagement d'hydrogène était produit par la réaction de la dissolution alcaline sur le vase en tôle zinguée qui la contenait et qu'il ne provenait pas de la respiration. L'analyse du gaz nous démontra, d'ailleurs, que l'azote n'avait subi que de très-faibles variations.

Lorsque notre grand appareil fut construit, à l'exception de la petite machine destinée à donner le mouvement aux pipettes à potasse, nous fîmes de nouvelles expériences pour décider définitivement la question du dégagement ou de l'absorption de l'azote.

L'appareil était disposé exactement comme le représente la Planche III; l'absorption de l'acide carbonique, au lieu de se faire par les pipettes C, C′, s'effectuait par de la potasse placée dans une cage cylindrique en fils de fer, à trois enveloppes concentriques, et que l'on disposait dans la cloche avant de mastiquer celle-ci sur sa monture DD′. L'intervalle compris entre les deux enveloppes extérieures était rempli de fragments de pierre ponce imbibée d'une

Digitized by Google

dissolution de potasse, et de potasse caustique en morceaux. L'enveloppe intérieure empêchait l'animal de toucher à la dissolution alcaline.

Cette disposition était très-vicieuse; l'acide carbonique provenant de la respiration s'absorbait rapidement au commencement de l'expérience; mais, vers la fin, l'absorption se ralentissait beaucoup, et l'animal se trouvait dans un air de plus en plus vicié.

Ces expériences ne peuvent donc pas être considérées comme se rapportant à la respiration normale; nous avons cependant jugé convenable de les consigner ici, parce qu'elles décidaient, pour nous, la question préliminaire que nous nous proposions de résoudre. Elles présentent, d'ailleurs, plusieurs particularités dignes d'intérêt.

1re *Expérience.*

Poule de cinq ans, pesant 1 725 grammes avant l'expérience. On lui donne dans la cloche du grain et de l'eau. L'animal reste 64h 30m dans la cloche; il ne paraît aucunement gêné et consomme la presque totalité de son grain et de son eau. Quelques heures après l'introduction dans la cloche, la poule pond un œuf, qu'elle brise après quelques instants et mange en totalité (intérieur et coquille).

La température de l'eau du manchon était d'environ 16 degrés pendant la durée de l'expérience.

La quantité totale d'oxygène consommé s'élève à 147gr,13.

Le gaz de la cloche, à la fin de l'expérience, a présenté la composition suivante :

Acide carbonique.....	3,68
Hydrogène....	1,66
Hydrogène protocarboné.	0,62
Oxygène	11,08
Azote	82,96
	100,00

Il y a donc de l'azote exhalé, et sa proportion s'élève à 0,0125 de l'oxygène consommé.

Digitized by Google

2e *Expérience.*

Canard mâle de deux ans, pesant 1493 grammes, très-farouche; il n'a pas touché à la nourriture et à l'eau qu'on lui avait mises dans la cloche. L'expérience a duré quarante-huit heures, pendant lesquelles l'animal n'a pas paru éprouver de gêne dans sa respiration. La température de l'eau du manchon est restée à peu près à 16 degrés. L'oxygène consommé pesait 154 grammes.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.	7,32
Hydrogène.....	0,13
Hydrogène carboné	traces.
Oxygène.....	11,86
Azote.....	80,69
	100,00

L'azote exhalé est les 0,0084 du poids de l'oxygène consommé.

3e *Expérience.*

Trois pigeons pesant ensemble 1172 grammes. On les place dans la cloche avec du grain et de l'eau. L'expérience dure soixante-seize heures; les animaux ne paraissent aucunement souffrants, pas même à la fin. Ils consomment 154gr,15 d'oxygène. La température de l'eau du manchon a varié de 14 à 15 degrés.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	7,06
Hydrogène.....	0,06
Oxygène.....	12,00
Azote.....	80,88
	100,00

L'azote exhalé est les 0,0045 du poids de l'oxygène consommé.

4e *Expérience.*

Lapin pesant 3183 grammes. On a placé dans la cloche des carottes, qui ont été mangées pendant l'expérience; celle-ci a duré quarante-neuf heures; l'animal ne paraissait pas souffrir, même à la fin. La température de l'eau du manchon était d'environ 17 degrés. L'oxygène consommé pèse 123gr,47.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	4,90
Hydrogène	1,80
Hydrogène carboné	0,36
Oxygène.	11,25
Azote	81,69
	100,00

L'azote exhalé est les 0,0107 du poids de l'oxygène consommé.

5e *Expérience.*

Chat mâle de cinq à six ans. L'animal reste $46^h 15^m$ dans la cloche; il est très-farouche et ne touche pas à la viande qu'on a mise à sa disposition. L'expérience ne présente rien de particulier; l'animal ne manifeste aucun malaise. La température de l'eau du manchon est d'environ 18 degrés. Le poids de l'oxygène consommé est de $144^{gr},86$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	1,22
Hydrogène	1,26
Oxygène	15,09
Azote	82,43
	100,00

L'azote dégagé est les 0,0131 du poids de l'oxygène consommé.

6e *Expérience.*

Lapin mâle de un an, pesant 3746 grammes. Carottes pour nourriture. L'animal paraît oppressé la dernière heure de l'expérience; il reste cinquante-huit heures dans la cloche. La température de l'eau du manchon est maintenue entre 12 et 13 degrés. Poids de l'oxygène consommé, $123^{gr},61$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	9,35
Hydrogène	0,12
Oxygène	9,56
Azote	80,97
	100,00

Digitized by Google

L'azote exhalé est les 0,0084 du poids de l'oxygène consommé.

7e Expérience.

Chien mâle de trois ans, pesant 6213 grammes. Avant de l'introduire dans la cloche, on lui a donné, à discrétion, une pâtée de viande cuite et de pain dont il a mangé une grande quantité; on ne lui a mis dans la cloche que de l'eau, dont il a bu à plusieurs reprises. L'animal est resté dans l'appareil $13^h\ 15^m$; à partir de la dixième heure, il a commencé à respirer difficilement; il a fait de grands efforts pour sortir de l'appareil, et il était presque agonisant au moment où on l'a retiré. Il s'est remis promptement aussitôt qu'il est arrivé à l'air, et, une demi-heure après, il était aussi vif qu'à l'ordinaire.

La température de l'eau du manchon a été maintenue entre 14 et 16 degrés. Le poids de l'oxygène consommé a été de 12gr,45.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	9,79
Hydrogène.....	3,01
Hydrogène carboné.....	traces.
Oxygène.....	4,44
Azote.....	82,76
	100,00

L'azote exhalé est les 0,0127 du poids de l'oxygène.

L'air de la cloche ne renfermait plus, à la fin de l'expérience, que 4,5 d'oxygène; il n'est donc pas étonnant que l'animal soit arrivé à un état voisin de l'asphyxie.

Les sept expériences qui précèdent ont été faites dans des conditions qui sont loin d'être normales, car l'acide carbonique s'accumulait de plus en plus dans la cloche, et, vers la fin de l'expérience, l'oxygène ne se trouvait plus qu'en très-petite proportion. Cela tient à ce que la potasse caustique qui condensait d'abord efficacement l'acide carbonique, ne l'absorbait plus que très-lentement vers la fin, lorsqu'elle se trouvait mêlée d'une grande quantité de carbonate recouvrant la surface des fragments de potasse et

Digitized by Google

de pierre ponce alcaline. Mais on peut admettre que cet inconvénient ne s'est présenté que vers la fin de l'expérience, car c'est alors seulement que les animaux ont paru oppressés.

Ces expériences démontrent, dans tous les cas, qu'il y a dégagement d'azote pendant la perspiration des animaux, mais que la proportion de ce gaz exhalé est tellement petite, que, si l'on absorbait efficacement l'acide carbonique, on pourrait admettre que la respiration a lieu dans un air très-peu différent de l'air normal, surtout si l'on a soin de maintenir dans la cloche un léger excès de pression.

Nous avons dit, dans l'historique qui commence ce Mémoire, qu'Edwards avait trouvé que les oiseaux, qui dégageaient de l'azote pendant le printemps et l'été, en absorbaient, au contraire, une quantité considérable pendant l'hiver. Nous avons voulu vérifier ce fait remarquable, et, à cet effet, nous avons exécuté, pendant les mois de janvier et de février 1845, les expériences que nous allons relater.

L'appareil était disposé comme dans les expériences que nous venons de décrire; mais, pour que les animaux séjournassent dans un espace très-froid, nous avons maintenu le manchon constamment rempli de glace fondante, en faisant écouler fréquemment, à l'aide d'un siphon, l'eau produite par la fusion de la glace. De temps en temps, on écartait la glace sur un côté de la cloche pour reconnaître l'état apparent de l'animal.

8e *Expérience.*

Poule de cinq ans (la même que dans l'expérience 1), pesant 1 750 grammes; on lui met dans la cloche du grain et de l'eau qu'elle consomme en partie. Vers la fin de l'expérience, l'animal paraît oppressé, il ouvre le bec pour respirer plus abondamment. La durée de l'expérience est de quarante-six heures; le poids de l'oxygène consommé est de 121gr,84.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	9,00
Hydrogène carboné....	0,20
Oxygène.....	11,30
Azote.....	79,50
	100,00

L'azote exhalé n'est que les 0,0021 du poids de l'oxygène consommé.

Si l'on compare entre elles les expériences 1 et 8 qui ont été faites sur le même animal, on voit que, dans la première, la poule a consommé 2gr,28 d'oxygène par heure, et que, dans la seconde, elle en a consommé 2gr,65 dans le même temps.

On trouve ici une confirmation de ce fait, annoncé déjà par plusieurs observateurs, que la respiration est d'autant plus abondante que la température du milieu ambiant est plus basse.

9e *Expérience.*

Canard mâle, pesant 1 663gr,5 (ce n'est pas le même que celui de l'expérience 2); on ne lui donne dans la cloche ni boisson, ni aliments, parce qu'on sait qu'il n'y toucherait pas; mais on lui a donné une nourriture abondante avant de l'introduire dans l'appareil. L'expérience dure soixante-dix heures; l'animal ne paraît mal à son aise que pendant les dernières heures; il n'éprouve d'ailleurs aucun effet fâcheux de son séjour dans la cloche. Le poids de l'oxygène consommé est de 143gr,43.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	10,15
Hydrogène.....	traces.
Oxygène.....	10,63
Azote.....	79,22
	100,00

L'azote exhalé n'est que les 0,0008 du poids de l'oxygène consommé.

Digitized by Google

10e *Expérience.*

Lapin mâle, pesant 3742 grammes; on lui donne dans la cloche des carottes, qu'il mange presque entièrement. L'expérience dure vingt-cinq heures; à partir de la vingtième heure, l'animal devient haletant; sa respiration est très-gênée à la fin. Poids de l'oxygène consommé = 96gr,95.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	14,72
Hydrogène.....	0,00
Oxygène.....	6,44
Azote.....	78,84
	100,00

Nous trouvons ici une légère absorption d'azote; mais elle est extrêmement petite, car elle s'élève, à peine, à 0,0008 du poids de l'oxygène consommé.

11e *Expérience.*

Lapin femelle, pesant 3949 grammes; on lui met dans la cloche deux grosses carottes; elles sont mangées entièrement. L'expérience dure vingt et une heures; l'animal ne paraît pas souffrant, même dans les dernières heures. Le poids de l'oxygène consommé est de 92gr,97.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	10,04
Hydrogène.....	0,15
Hydrogène carboné.....	traces.
Oxygène.....	9,76
Azote.....	80,05
	100,00

L'azote exhalé est les 0,0059 du poids de l'oxygène consommé.

12e *Expérience.*

Chien mâle de trois ans et demi (le même que dans l'expérience 7), pesant 6400 grammes; on ne lui met pas d'aliments dans la cloche, mais on lui a donné une forte ration de viande et

Digitized by Google

de pain avant de l'y introduire. L'expérience dure $12^h\ 10^m$; l'animal ne commence à paraître souffrant que deux heures avant la fin : il est très-oppressé au moment où on le sort de l'appareil; mais son malaise disparaît promptement à l'air libre. Le poids de l'oxygène consommé est de $98^{gr},21$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	12,82
Hydrogène.....	0,53
Hydrogène carboné.....	traces.
Oxygène.....	5,16
Azote.....	81,49
	100,00

L'azote exhalé forme les 0,0133 du poids de l'oxygène consommé.

Si l'on compare les résultats de cette expérience avec ceux de l'expérience 7, qui a été faite sur le même animal, on voit que dans l'expérience 7, où l'eau environnant la cloche était à 15 degrés, le chien a consommé $9^{gr},16$ d'oxygène par heure; tandis que dans l'expérience 12, où le manchon était rempli de glace fondante, il n'en a consommé que $8^{gr},06$.

Ainsi, sa respiration a été moins abondante dans l'espace le plus froid. On ne peut cependant rien en conclure, parce que l'activité de la respiration varie beaucoup pour le même individu, surtout avec le mouvement qu'il se donne; et nous avons remarqué que l'animal s'est beaucoup plus agité dans la première expérience que dans les suivantes.

Les expériences que nous venons de rapporter ne confirment pas le fait avancé par Edwards, à savoir, que les oiseaux absorbent une quantité notable d'azote pendant l'hiver. La poule et le canard ont, au contraire, dégagé de l'azote pendant les expériences que nous avons faites en janvier et février, bien que l'enceinte dans laquelle ils se trouvaient fût maintenue à la température de la glace fondante; circonstance que nous regardions comme favorable à l'absorption de l'azote, si l'observation d'Edwards était exacte. Il

Digitized by Google

convient cependant de remarquer que dans les deux expériences faites sur ces oiseaux, le dégagement de l'azote a été beaucoup plus faible que celui que nous avons constaté sur les mêmes animaux dans une autre saison, et lorsque la cloche était maintenue à une température de 14 à 16 degrés.

Dans l'expérience 10, faite sur un lapin, nous avons reconnu une faible absorption d'azote; mais elle est tellement petite, qu'il est difficile d'en répondre.

Nous avons fait également quelques expériences préliminaires sur la respiration des animaux dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène que l'air atmosphérique ordinaire, afin de reconnaître si la composition de l'air exerçait une influence notable sur le dégagement ou l'absorption de l'azote.

L'appareil était disposé comme dans les expériences précédentes. L'animal était placé dans la cloche, et l'obturateur *ef* était adapté sur l'ouverture inférieure *ab*, *fig.* 2, mais sans que les boulons fussent serrés. On introduisait dans la cloche, par la tubulure *v'r*, du gaz oxygène qui chassait une partie de l'air à travers les interstices laissés entre l'ouverture *ab* et son couvercle. Lorsqu'on avait fait passer ainsi environ 50 à 80 litres de gaz oxygène, on serrait les boulons pour fermer hermétiquement la cloche, et l'on continuait l'introduction de l'oxygène jusqu'à ce que le manomètre indiquât un excès de pression de 3 à 4 centimètres. On fermait alors le robinet *r*, on mettait le tube *v'r* en communication avec le flacon M et avec l'une des pipettes à oxygène A, et l'on attendait le moment où, par l'effet de la respiration de l'animal, le gaz intérieur s'était mis en équilibre avec l'atmosphère extérieure. On faisait alors une prise de gaz dans l'appareil manométrique *a'b'c'd'*; l'analyse de ce gaz donnait la composition de l'air primitif dans lequel s'effectuait la perspiration de l'animal. On ouvrait le robinet *r*, et l'on continuait l'expérience comme à l'ordinaire.

Digitized by Google

Nous n'avons jamais remarqué que les animaux éprouvassent le moindre malaise dans ces atmosphères très-riches en oxygène; leur respiration ne paraissait aucunement gênée, même à la fin. L'atmosphère de la cloche renfermait, en effet, à la fin de l'expérience, plus d'oxygène que n'en contient l'air ordinaire; et la grande quantité d'acide carbonique qui s'y accumulait ne paraissait pas produire d'effets fâcheux. Les animaux sortis de l'appareil ont continué à se bien porter, et sont rentrés entièrement dans leurs conditions normales.

13e *Expérience.*

Poule pesant 2 187 grammes (la même que dans les expériences 1 et 8); on lui a donné beaucoup de nourriture avant de l'introduire dans l'appareil. On lui a mis dans la cloche de l'orge et de l'eau qu'elle a consommées en grande partie. La poule est restée quatre-vingt-dix heures dans l'appareil; elle n'a manifesté aucun malaise; elle a pondu successivement deux œufs qu'elle a mangés immédiatement, comme dans l'expérience 1. Le poids de l'oxygène consommé a été de 210gr,18.

Composition du gaz.

Au commencem. de l'expérience.		A la fin de l'expérience.	
Oxygène.....	65,83	Acide carbonique..	7,21
Azote.....	34,17	Hydrogène.....	traces.
	100,00	Oxygène.....	58,08
		Azote.....	34,71
			100,00

L'azote exhalé forme les 0,0013 du poids de l'oxygène consommé.

Le poids de l'oxygène consommé en une heure dans cette expérience est de 2gr,33; le même animal en a consommé 2gr,28 dans l'expérience 1.

Ainsi, la consommation d'oxygène n'a pas été sensiblement plus grande dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène.

Digitized by Google

14e *Expérience.*

Lapin pesant 2125 grammes; on lui donne pour nourriture des carottes; elles sont entièrement mangées. L'animal séjourne dans la cloche 76h 30m; il ne manifeste pas le moindre malaise. Le poids de l'oxygène consommé est de 183gr,47.

Composition du gaz.

Au commencem. de l'expérience.		A la fin de l'expérience.	
Oxygène.....	54,89	Acide carbonique..	23,02
Azote.....	45,11	Hydrogène.....	traces.
	100,00	Oxygène	31,16
		Azote.....	45,82
			100,00

Le poids de l'azote exhalé est les 0,0021 du poids de l'oxygène consommé.

15e *Expérience.*

Chien mâle (le même que dans les expériences 7 et 12); on ne lui met pas d'aliments dans la cloche; mais, avant de l'y introduire, on lui a donné une pâtée abondante de pain et de viande. L'expérience dure vingt-deux heures; l'animal est très-agité et cherche à sortir de la cloche, mais il ne paraît pas souffrant. Le poids de l'oxygène consommé est de 174gr,6.

Composition du gaz.

Au commencem. de l'expérience.		A la fin de l'expérience.	
Oxygène....	58,35	Acide carbonique...	17,22
Azote.....	41,65	Hydrogène.....	0,35
	100,00	Oxygène.....	40,00
		Azote.....	42,43
			100,00

L'azote exhalé est les 0,0049 du poids de l'oxygène consommé.

Le poids de l'oxygène consommé par heure dans cette périence est de.. ..... 7gr,94
Dans la septième expérience, il était de..... ..... 9gr,16
Et dans la douzième expérience, où la cloche était environnée de glace fondante..... 8gr,06

Digitized by Google

Nous voyons par ces expériences que lorsque la perspiration des animaux a lieu dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène que notre atmosphère terrestre, il ne se présente rien de particulier, au moins sous le rapport de la quantité d'oxygène consommé. Nous remarquons constamment une exhalation d'azote; celle-ci a été trouvée moindre que dans les expériences faites au milieu d'un air plus pauvre en oxygène, mais cette circonstance n'est peut-être que fortuite..

EXPÉRIENCES DÉFINITIVES.

Les expériences précédentes démontrent qu'en général il y a dégagement d'azote dans la perspiration des animaux, mais que la quantité de ce gaz exhalé n'est jamais qu'une très-petite fraction de la quantité d'oxygène consommée; il est donc évident qu'un animal placé dans un espace un peu considérable, rempli primitivement d'air atmosphérique, peut être considéré comme respirant pendant longtemps un air normal, si l'on a soin d'absorber constamment l'acide carbonique qu'il produit, et de le remplacer par un volume égal d'oxygène. La méthode d'expérimentation que nous avons décrite (page 310 et suiv.) s'applique donc parfaitement à l'étude de la perspiration normale, pourvu que l'appareil à potasse absorbe efficacement l'acide carbonique.

On conçoit qu'il serait difficile d'absorber l'acide carbonique assez complétement, à mesure qu'il se produit, pour que l'air de la cloche ne renfermât jamais que la petite quantité de ce gaz qui existe ordinairement dans l'air atmosphérique normal, surtout lorsque l'animal jouit d'une respiration puissante. Mais on évite l'inconvénient qui résulte de la présence de cet excès d'acide carbonique, en maintenant dans la cloche, pendant tout le temps de l'expérience, un excès de pression de quelques centimètres de mercure, par l'introduction d'une plus grande quantité d'oxygène que celle qui a été consommée; l'oxygène s'y trouve alors sen-

Digitized by Google

siblement en même proportion que dans l'air atmosphérique. La présence de la petite quantité d'acide carbonique ne trouble d'ailleurs en rien la respiration, car nous nous sommes assurés qu'un animal peut séjourner, pendant longtemps et sans éprouver de malaise apparent, dans une atmosphère renfermant plus de la moitié de son volume d'acide carbonique, pourvu que cette atmosphère contienne une quantité suffisante d'oxygène. Plusieurs des expériences préliminaires que nous avons transcrites peuvent même être citées à l'appui de ce fait.

Nos expériences ont porté sur les différentes classes animales; dans chacune d'elles, nous avons choisi un petit nombre d'espèces, en prenant de préférence les animaux domestiques, parce qu'il y avait moins à craindre qu'ils fussent troublés dans leurs fonctions par leur séjour dans notre appareil. Nous avons pensé qu'il valait mieux étudier le phénomène de la perspiration sur un petit nombre d'espèces, mais d'une manière complète, que de l'étudier incomplétement sur un plus grand nombre. Nous avons fait, ordinairement, plusieurs expériences sur le même individu soumis à des alimentations différentes, et sur plusieurs individus de la même espèce, soumis au même régime. Malheureusement, ces expériences sont fort longues et coûteuses, et, malgré le temps considérable que nous y avons consacré, nous ne les avons, peut-être, pas multipliées autant que le sujet l'exigerait.

Nous aurons soin de donner les principaux éléments de chaque expérience; ils sont nécessaires au lecteur qui veut se faire une idée des circonstances dans lesquelles elle a été faite.

EXPÉRIENCES SUR LES MAMMIFÈRES
DANS L'ATMOSPHÈRE NORMALE.

I. — Expériences sur les lapins.

16e *Expérience.*

Lapin A, pesant 2755 grammes; on lui donne dans la cloche 430 grammes de carottes. L'expérience dure $42^h 45^m$. Tempé-

Digitized by Google

rature T de l'eau du manchon pendant l'expérience, de 21 à 22 degrés.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,10
Hydrogène protocarboné.	2,00
Oxygène.....	16,52
Azote.....	80,38
	100,00

Excès de la pression finale du gaz intérieur sur la pression initiale. 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	116,291
Poids de l'acide carbonique produit.....	146,490
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	106,538
Poids de l'azote exhalé.....	0,577

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé. 0,916

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0049

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $2^{gr},720$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... ..... $0^{gr},987$

17e *Expérience.*

Le même lapin A, pesant 2780 grammes, nourri, dans l'intervalle, avec des carottes et des fanes de carottes. On lui met dans la cloche 600 grammes de carottes, qu'il mange entièrement. L'expérience dure $54^h\,40^m$. T = 23°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,15
Hydrogène protocarboné.	0,42
Oxygène.....	18,70
Azote.....	80,73
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale du gaz intérieur sur la pression initiale..... $= 0^{mm},1$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	133,291
Poids de l'acide carbonique produit.....	168,197
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	122,325
Poids de l'azote exhalé.....	0,723

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé. 0,918

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0054

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $2^{gr},439$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},877$

18e *Expérience.*

Lapin B, pesant 4140 grammes, nourri avec des carottes et des fanes. On lui met dans la cloche 799 grammes de carottes, qu'il mange entièrement. Durée de l'expérience, $43^h 40^m$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,59
Hydrogène.....	0,56
Hydrogène carboné.....	traces.
Oxygène.....	18,42
Azote.....	79,43
	100,00

Excès de la pression finale du gaz sur la pression initiale. 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	144,171
Poids de l'acide carbonique produit.....	187,891
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	136,648
Poids de l'azote exhalé.....	0,120

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé..... 0,948

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,00083

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 3gr,302
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,797

19e *Expérience.*

Le même lapin B, pesant 3800 grammes. Il est arrivé un accident grave dans cette expérience : on avait oublié, le soir, de remonter l'appareil moteur, et le jeu des pipettes s'est arrêté pendant la nuit, probablement vers trois heures du matin. Le lendemain matin, on a trouvé l'animal mort dans la cloche; on n'en a pas moins remis l'appareil en marche, et on l'a fait fonctionner pendant trois heures pour absorber tout l'acide carbonique. On a terminé l'expérience comme à l'ordinaire, seulement on n'a pas ramené la température de l'eau de la cloche au point où elle était au commencement de l'expérience; on l'a élevée davantage pour compenser approximativement l'effet de la chaleur animale. La température initiale était de 8°,3, et la température finale de 9°,6.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	traces.
Hydrogène.....	0,24
Hydrogène protocarboné.	0,30
Oxygène.....	13,94
Azote.....	85,52
	100,00

	gr.
Poids de l'oxygène consommé.....	48,990
Poids de l'acide carbonique produit.....	61,000
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	44,363
Poids de l'azote exhalé.....	2,466
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.	0,906
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0503

Nous avons rapporté cette expérience, parce qu'elle nous a semblé offrir de l'intérêt, précisément à cause des circonstances exceptionnelles qu'elle a présentées.

Digitized by Google

20e *Expérience.*

Lapin C, nourri avec des carottes. On lui met dans la cloche 500 grammes de carottes fraîches, qu'il mange entièrement. Durée de l'expérience, vingt-sept heures. T = 18 à 19°.

Poids de l'animal avant l'expérience.....	3648gr
Poids de l'animal après l'expérience.....	3662
Gain	14

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,28
Oxygène.....	18,12
Azote.....	80,60
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.	0,0
	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	84,333
Poids de l'acide carbonique produit.....	98,509
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	71,643
Poids de l'azote exhalé.....	0,682
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.	0,849
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé	0,0081
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	3gr,124
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,856

21e *Expérience.*

Le même lapin C; on ne lui a pas donné de nourriture depuis sa sortie de la cloche. Au moment où on le remet dans l'appareil, il est à jeun depuis trente heures. On ne lui donne pas de nourriture dans la cloche : ainsi cette expérience se rapporte à l'animal *dans l'état d'inanition.*

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche.	3506gr
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	3360
Perte.....	146

Digitized by Google

Durée de l'expérience..... $34^h 15^m$. T = 19°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,35
Oxygène.....	18,36
Azote.....	80,29
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale = — 5^{mm},5

Poids de l'oxygène consommé.....	86,463 gr
Poids de l'acide carbonique produit.....	79,976
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	58,164
Poids de l'azote exhalé.....	0,439
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.	0,672
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0050
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	2^{gr},518
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0^{gr},735

22e *Expérience.*

Lapin D, nourri avec des carottes. On lui donne 500 grammes de carottes, qu'il mange en grande partie. Durée de l'expérience, $22^h 45^m$. T = 24°.

Poids de l'animal avant l'expérience.....	4048gr
Poids de l'animal après l'expérience.....	3949
Perte de poids	99

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	7,08
Hydrogène.....	0,26
Oxygène.....	12,99
Azote.....	79,67
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale — $1^{mm},5$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	81,684
Poids de l'acide carbonique produit.....	106,705
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	77,604
Poids de l'azote exhalé.....	0,370
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.	0,950
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0045
Poids de l'oxygène consommé par heure.	$3^{gr},590$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$0^{gr},897$

Dans cette expérience, il s'est accumulé beaucoup d'acide carbonique, mais seulement vers la fin; cette circonstance est due à un petit dérangement du mécanisme, qui a beaucoup ralenti le mouvement des pipettes à potasse. On a remédié en partie à cet inconvénient, en maintenant un plus grand excès de pression dans la cloche.

23e *Expérience.*

Le même lapin D, mais *à l'inanition*. L'animal est resté à jeun pendant trente heures avant d'être placé dans la cloche, où il reste sans nourriture. Durée de l'expérience, $28^h\ 25^m$. T = 23°.

Poids de l'animal avant l'expérience.....	3675^{gr}
Poids de l'animal après l'expérience.....	3480
Perte de poids	195

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique..	1,07
Oxygène.....	18,34
Azote.....	80,59
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale = — $0^{mm},3$

Digitized by Google

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	77,158
Poids de l'acide carbonique produit.....	75,038
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	54,573
Poids de l'azote exhalé.....	0,686
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,707
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0089
Poids de l'oxygène consommé par heure..... .	2gr,731
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,763

24e *Expérience.*

Le même lapin D. Au sortir de la cloche, le lapin a été nourri pendant plusieurs jours avec du pain et de l'avoine, on mettait de l'eau à sa disposition; mais comme il n'en buvait pas spontanément, on lui en introduisait tous les jours une certaine quantité à l'aide d'un entonnoir. Le lapin s'était parfaitement remis depuis la dernière expérience; on l'a placé dans la cloche avec du pain dont il a mangé la plus grande partie.

L'animal pesait, avant l'expérience.....	3820gr
L'animal pesait, après l'expérience.....	3772
Perte de poids.....	48

L'expérience dure..... 25h 5m. T = 20°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,82
Hydrogène	0,16
Oxygène.....	18,32
Azote.....	79,70
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale....	0,0
	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	85,195
Poids de l'acide carbonique produit.....	116,779
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	84,930
Poids de l'azote exhalé.....	0,281

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé. 0,997
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0033

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 3gr,390
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,893

25e *Expérience*.

Trois lapins, âgés de quelques mois, de la même portée, pesant ensemble 6940 grammes. Ils sont nourris, avant et pendant l'expérience, avec des carottes. Durée de l'expérience, 24h 52m. T = 18°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	2,37
Hydrogène.....	0,29
Oxygène.....	18,01
Azote.....	79,33
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé..... 188gr,658
Poids de l'acide carbonique produit..... 241,418
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 175,576
Poids de l'azote exhalé..... 0,145

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,931
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,00077

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par les trois lapins..... 7gr,586
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,093

Digitized by Google

26e *Expérience.*

Cette expérience a été faite à la demande de M. Magendie. Cet habile physiologiste a remarqué que lorsqu'on enduit les animaux d'huile ou d'un vernis quelconque, ils se refroidissent rapidement et meurent au bout de quelque temps. Il était intéressant de rechercher quelle influence ces circonstances exerçaient sur la respiration.

Un lapin E, nourri avec des carottes et des fanes, a été enduit d'huile d'œillette, une heure environ avant de l'introduire dans l'appareil; l'animal a paru souffrant après quelque temps. Il a poussé des cris vers la fin de l'expérience. La température en a été prise dans l'anus, au moment où on l'a sorti de la cloche; elle a été trouvée de 35 degrés. L'animal est mort environ une heure après la sortie de l'appareil. La durée de l'expérience a été de vingt-trois heures. T = 22°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,88
Oxygène.....	19,44
Azote.....	79,68
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $7^{mm},0$

Poids de l'oxygène consommé.....	$81^{gr},433$
Poids de l'acide carbonique produit.....	89,926
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	65,401
Poids de l'azote exhalé.....	0,081
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,803
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0010
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$3^{gr},540$

Les expériences 16, 17, 18, 20, 22 ont été faites sur des lapins nourris avec des carottes. Dans toutes ces expériences, il y a eu exhalation d'azote; la proportion de ce gaz, rap-

Digitized by Google

portée au poids de l'oxygène consommé, a été :

Nos 16.....	0,0049	A
17.....	0,0054	A
18.....	0,0008	B
20.....	0,0081	C
22.....	0,0045	D
25.....	0,0008	3 jeunes lapins.
Moyenne....	0,0041	

elle est donc toujours restée au-dessous de $\frac{1}{100}$ du poids de l'oxygène consommé.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été :

Nos 16.....	0,916	A
17.....	0,918	A
18.....	0,948	B
20.....	0,849	C
22.....	0,950	D
25.....	0,931	3 jeunes lapins.
Moyenne.....	0,919	

Nous voyons que ce rapport est resté le même dans les deux expériences 16 et 17 faites sur le même lapin soumis à une alimentation identique ; mais il a varié de $\frac{1}{10}$ dans les expériences faites sur des individus différents, quoique soumis à la même alimentation. En admettant la moyenne 0,919 des cinq expériences, on voit que, sur 100 parties d'oxygène consommées, il y en a 91,9 qui se retrouvent dans l'acide carbonique, et 8,1, seulement, sont absorbées dans d'autres combinaisons qui ne prennent pas l'état gazeux.

Le poids de l'oxygène consommé par heure a été :

	gr	
Nos 16.....	2,720	A
17.....	2,439	A
18.....	3,302	B
20.....	3,124	C
22.....	3,590	D
25.....	7,586	3 jeunes lapins.

Digitized by Google

Si on le rapporte à des poids égaux des animaux, on trouve :

	gr	
Nos 16.....	0,987	A
17.....	0,877	A
18.....	0,797	B
20.....	0,856	C
22.....	0,897	D
25.....	1,093	3 jeunes lapins.
Moyenne.....	0,918	

On voit que la consommation d'oxygène est notablement différente, même dans les deux expériences 16 et 17, faites sur le même individu. Les variations ne présentent rien de régulier par rapport aux poids absolus des individus. C'est dans l'expérience 25, faite sur de jeunes lapins, que la consommation d'oxygène a été, comparativement, la plus grande. On peut conclure de là que l'intensité absolue de la respiration varie notablement, non-seulement dans des individus différents, mais encore dans le même animal.

Les expériences 21 et 23 ont été faites sur deux lapins différents, à *l'inanition;* tous deux avaient été nourris précédemment de la même manière, avec des carottes et d'autres légumes, mais, avant de les soumettre à l'expérience, ils étaient restés trente heures sans manger.

Dans les deux expériences, il y a eu exhalation d'azote, et le rapport du poids de ce gaz à celui de l'oxygène consommé a été :

Nos 21.....	0,0050	C
23.....	0,0089	D
Moyenne....	0,0069	

c'est-à-dire peu différent de ce qu'il a été trouvé pour ces mêmes animaux lorsqu'ils étaient soumis à leur régime ordinaire.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène consommé est, au contraire, beaucoup plus faible que lorsque les animaux

Digitized by Google

recevaient leur nourriture ordinaire, car il a été trouvé de

Nos 21.....	0,672	C
23..... ..	0,707	D
Moyenne	0,690	

Sur 100 d'oxygène consommé, on en retrouve donc 69,0 dans l'acide carbonique, et 31,0 disparaissent dans des combinaisons non gazeuses.

Le poids d'oxygène consommé dans le même temps par les lapins à l'inanition est notablement plus faible que lorsqu'ils prennent leur nourriture ordinaire. Car le lapin C a consommé en une heure :

	gr
20. Lorsqu'il était nourri à discrétion avec des carottes.	3,124
21. Lorsqu'il était à l'inanition	2,518

Le lapin D a consommé en une heure :

	gr
22. Lorsqu'il était nourri avec des carottes.....	3,590
23. Lorsqu'il était à l'inanition.....	2,731

Les expériences 22 et 24 ont été faites sur le même lapin D; dans l'expérience 22, il était nourri avec des carottes; dans l'expérience 24, il mangeait du pain, de l'avoine et du son mouillé, et avait été soumis préalablement, pendant plusieurs jours, à cette même alimentation.

L'expérience 24 constate encore une exhalation d'azote qui est les 0,0033 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été :

	gr
22. L'animal nourri avec des carottes.....	0,950
24. L'animal nourri avec du pain et de l'avoine.....	0,997

Ce rapport a donc été plus grand dans l'alimentation au grain que dans celle aux légumes. Sur 100 parties d'oxygène consommées par l'animal alimenté au pain et à l'avoine, on en a trouvé 99,7 dans l'acide carbonique; 0,3 seulement disparaissent dans des combinaisons non gazeuses.

Le poids de l'oxygène consommé par heure a été :

Digitized by Google

22. Par l'animal nourri avec les carottes..... 3gr,590
24. Par l'animal nourri avec le pain et l'avoine..... 3,390

Cette consommation est donc restée à peu près la même.

Les expériences 19 et 26 ont été faites dans des conditions anomales :

Dans l'expérience 19, l'animal est mort asphyxié, parce que le jeu des pipettes à potasse s'est arrêté. On a trouvé dans ce cas une exhalation d'azote beaucoup plus considérable, car elle s'élève à 0,0503 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été peu différent de ce qu'il est dans les conditions normales, car il a été trouvé de 0,906; cela ne doit pas surprendre, puisque la plus grande partie de ce gaz s'est formée pendant une respiration normale.

Dans l'expérience 26, l'animal avait été recouvert, sur tout son corps, d'une couche d'huile; il était très-souffrant, et il mourut une heure environ après sa sortie de la cloche. Il y a encore eu une faible exhalation d'azote, laquelle s'est élevée à 0,0010 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été de 0,803; par conséquent, notablement plus faible que lorsque l'animal, soumis à la même alimentation, est en bonne santé; mais ce rapport est beaucoup plus fort que pour les lapins à l'inanition. Il est bon de remarquer que l'animal n'a pas pris de nourriture pendant les vingt-trois heures qu'il est resté dans l'appareil, et que c'est à cette circonstance que l'on peut attribuer, au moins en partie, la faiblesse de ce rapport entre l'oxygène de l'acide carbonique et l'oxygène consommé. Le poids de l'oxygène consommé par heure a été de 3gr,540, c'est-à-dire à peu près égal à celui que l'on a trouvé pour ces animaux en bonne santé.

Digitized by Google

II. — Expériences sur les chiens.

27e *Expérience.*

Chien A au terme de sa croissance ; il pèse 6393 grammes avant l'expérience. L'animal était nourri à la viande depuis plusieurs jours ; on ne lui donne pas de nourriture dans la cloche. Durée de l'expérience, $24^h\ 30^m$. T = 22°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	3,01
Oxygène.....	17,42
Azote.....	79,57
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $+5^{mm},91$

Poids de l'oxygène consommé.....	$182^{gr},288$
Poids de l'acide carbonique produit.....	185,961
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	135,244
Poids de l'azote exhalé.....	0,182
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,742
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0010
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$7^{gr},440$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},164$

28e *Expérience.*

Le même chien A ; on a continué à le nourrir avec de la viande crue ; il pèse, avant l'expérience, 6 370 grammes. Durée de l'expérience, $22^h\ 15^m$. T = 23°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,65
Oxygène.....	17,78
Azote.....	80,57
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $+ 0^{mm},2$

Poids de l'oxygène consommé	$182^{gr},381$
Poids de l'acide carbonique produit	188,050
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique	136,763
Poids de l'azote exhalé	0,624
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,750
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé	0,0034
Poids de l'oxygène consommé par heure	$8^{gr},196$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal	$1^{gr},286$

29e *Expérience.*

Le même chien A; il est resté soumis au régime de la viande crue; il pèse, avant l'expérience, 6290 grammes. Durée de l'expérience, $21^h.15^m$. $T = 25°$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	0,77
Oxygène	17,70
Azote	81,53
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé	$146^{gr},479$
Poids de l'acide carbonique produit	150,406
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique	109,386
Poids de l'azote exhalé	1,016
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,747
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé	0,0069
Poids de l'oxygène consommé par heure	$6^{gr},893$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal	$1^{gr},095$

Digitized by Google

30e *Expérience.*

Autre chien plus âgé B, nourri également à la viande. Il pèse, au moment d'entrer dans l'appareil, 6213 grammes. L'expérience dure vingt-sept heures. T = 21°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,65
Hydrogène.....	traces.
Oxygène.....	16,71
Azote.....	80,31
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale = — 0^{mm},8

Poids de l'oxygène consommé.....	170,520 gr
Poids de l'acide carbonique produit.....	173,472
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	126,161
Poids de l'azote exhalé.....	0,530
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,740
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0031
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	6^{gr},315
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1^{gr},016

31e *Expérience.*

Chien C, nourri à la viande crue; il pèse, avant l'expérience.....	6256^{gr},5
Après l'expérience.....	6060^{gr},5
Perte.....	196^{gr},0

Durée de l'expérience .... 10^h 15^m. T = 15°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	3,09
Oxygène.....	14,12
Azote.....	82,79
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale . — $3^{mm},61$

Poids de l'oxygène consommé.....	$87^{gr},839$
Poids de l'acide carbonique produit..... ...	86,378
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	62,820
Poids de l'azote exhalé.....	1,535
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,743
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.	0,0174
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$8^{gr},570$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},393$

32e *Expérience.*

Chien D, au régime de la viande seule depuis plusieurs jours.

L'animal pèse, avant l'expérience.....	$4802^{gr},5$
L'animal pèse, après l'expérience.....	4712,0
Perte.....	90,5

Durée de l'expérience ..... $13^h\ 10^m$. T = 21°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	1,95
Hydrogène.....	0,08
Hydrogène carboné ...	0,16
Oxygène.....	16,65
Azote	81,16
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé.....	$69^{gr},168$
Poids de l'acide carbonique produit.....	70,648
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	51,380
Poids de l'azote exhalé.....	0,948
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,743
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé	0,0137

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 5gr,252
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1,106

33e *Expérience.*

Chien E, nourri à la viande, pesant 5625 grammes. A la demande de M. Magendie, ce chien a été enduit, sur toute la surface de son corps, d'une couche de gélatine. L'animal était très-gêné par ce vernis qui empêchait ses mouvements, mais il n'a pas paru souffrant. L'expérience a duré 10h 30m. T = 20°. Le chien, au sortir de l'appareil, a été lavé longtemps à l'eau tiède; on est parvenu ainsi à détacher complétement la gélatine. Il ne s'est d'ailleurs pas ressenti de cette expérience.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique..	5,17
Oxygène.....	14,25
Azote.....	80,58
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé..... 87gr,568
Poids de l'acide carbonique produit..... 89,316
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 64,957
Poids de l'azote exhalé..... 0,672

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,741
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0077

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 8gr,340
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,481

34e *Expérience.*

Chien F, nourri à la viande.

Digitized by Google

L'animal pèse, avant l'expérience..... 5615gr
L'animal pèse, après l'expérience..... 5284

Perte de poids..... 331

Durée de l'expérience..... 17h 20m. T = 23°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	2,47
Hydrogène.....	0,32
Oxygène.....	17,70
Azote.....	79,51
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 2mm,3

Poids de l'oxygène consommé..... 115gr,656
Poids de l'acide carbonique produit..... 119,661
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 87,026
Poids de l'azote exhalé..... 0,076

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,752
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,00066

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 6gr,673
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,224

35e *Expérience.*

Le chien A, pesant 6 390 grammes; on ne lui donne pas de nourriture dans la cloche; mais l'animal, immédiatement avant d'y entrer, a mangé une pâtée abondante de pain et d'eau grasse. Lorsqu'il fut renfermé dans la cloche, le chien eut une indigestion et vomit toute la nourriture qu'il venait de prendre, mais il l'a ravala immédiatement. Un second vomissement suivit bientôt le premier; les matières vomies furent de nouveau mangées, avec avidité, et le chien ne manifesta plus aucun signe de malaise pendant le reste de l'expérience. Celle-ci dura en tout 17h 40m. T = 23°.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	5,52
Hydrogène.....	3,82
Oxygène.....	11,04
Azote.....	79,62
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. 0,0

Poids de l'oxygène consommé.....	156gr,330
Poids de l'acide carbonique produit.....	196,270
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	142,742
Poids de l'azote exhalé.....	0,0594

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,913
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,00038

Poids de l'oxygène consommé par heure.....	8gr,848
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,384

36e *Expérience.*

Le même chien F a été nourri, pendant huit jours, avec une pâtée formée de pain, de très-peu de viande et d'eaux grasses; il a été ensuite soumis à l'expérience.

L'animal pesait, à son entrée dans la cloche.....	6145gr
L'animal pesait, à sa sortie de la cloche.....	5865
Perte.....	280

L'expérience a duré treize heures. T = 22°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	3,83
Hydrogène.....	0,24
Oxygène.....	14,96
Azote.....	80,97
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 3mm

Poids de l'oxygène consommé	85gr,686
Poids de l'acide carbonique produit	111,081
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	80,786
Poids de l'azote exhalé	0,688
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,943
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé	0,0080
Poids de l'oxygène consommé par heure.	6gr,591
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal	1gr,100

37e *Expérience.*

Le même chien F, au sortir de la cloche, reste à jeun pendant vingt-quatre heures; on le replace dans l'appareil sans lui donner à manger. Ainsi l'animal, au moment d'entrer dans la cloche, n'avait pas mangé depuis trente-huit heures. On peut donc le considérer comme à l'état d'inanition. L'expérience dure 22h 40m. T = 21°.

L'animal pesait, à son entrée dans l'appareil	5607gr
L'animal pesait, à sa sortie de l'appareil	5577
Perte	30

Il n'a fait dans la cloche ni urine, ni excréments.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	2,75
Oxygène	19,71
Azote	77,54
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.. 0,0

Poids de l'oxygène consommé	114gr,517
Poids de l'acide carbonique produit	114,073
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbon.	82,962
Poids de l'azote absorbé	0,689

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,724
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0060
Poids de l'oxygène consommé par heure..... 5gr,054
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,902

38e *Expérience.*

Le même chien F, au sortir de la cloche, était très-affamé, car il n'avait pas mangé depuis plus de soixante heures; on lui donna 50 grammes de graisse de mouton qu'il avala avec avidité; douze heures après, on lui en donna 200 grammes qu'il dévora de même. On le soumit immédiatement à une nouvelle expérience. Le chien resta 13h 15m dans la cloche; mais il paraissait souffrant et resta couché. T = 21°.

Poids de l'animal avant l'expérience....	5547gr
Poids de l'animal après l'expérience....	5485
Perte.....	62

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,94
Hydrogène.....	traces.
Oxygène.....	18,98
Azote.....	79,08
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. + 0mm,5

Poids de l'oxygène consommé.....	82gr,960
Poids de l'acide carbonique produit.....	78,960
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carboniq.	57,425
Poids de l'azote exhalé.....	0,000

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,694
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,000

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 6gr,261
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,138

Les expériences 27, 28, 29, 30, 31, 32 et 34 ont été faites sur des chiens nourris à la viande; dans toutes ces expériences, il y a eu exhalation d'azote. Le rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé a été :

	gr	
Nos 27.....	0,0010	A
28.....	0,0034	A
29.....	0,0069	A
30.....	0,0031	B
31.....	0,0174	C
32.....	0,0137	D
34.....	0,0007	F
Moyenne.....	0,0066	

La quantité d'azote exhalée varie donc beaucoup, pour des chiens soumis à la même alimentation de chair; mais elle est toujours très-petite, car dans l'expérience 31, où elle a été la plus considérable, le poids de l'azote dégagé forme 1,7 pour 100 du poids de l'oxygène consommé.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été le même, à très-peu de chose près, dans toutes les expériences; on a trouvé en effet :

Nos 27.....	0,742	A
28.....	0,750	A
29.....	0,747	A
30.....	0,740	B
31.....	0,743	C
32.....	0,743	D
34.....	0,752	F
Moyenne.....	0,745	

Digitized by Google

Ainsi, dans la respiration des chiens nourris à la viande, sur 100 parties d'oxygène consommées, il en passe 74,5 dans l'acide carbonique, et 25,5 sont absorbées pour former des combinaisons non gazeuses. Le rapport 0,745 que nous trouvons ici est beaucoup plus faible que le rapport 0,916 obtenu sur les lapins nourris avec des légumes, et, à plus forte raison, que le rapport 0,997 que nous avons trouvé pour le lapin nourri à l'avoine et au pain; il est un peu plus grand que le rapport 0,690 que nous ont donné les lapins à l'inanition.

Les poids d'oxygène consommés par heure ont été :

Nos 27	7,440	A
28	8,196	A
29	6,893	A
30	6,315	B
31	8,570	C
32	5,252	D
34	6,673	E

et, si l'on rapporte cette quantité à des poids égaux (1 kilogramme) de l'animal :

Nos 27	1,164	A
28	1,286	A
29	1,095	A
30	1,016	B
31	1,393	C
32	1,106	D
34	1,224	E
Moyenne	1,183	

On voit que la quantité d'oxygène consommée par heure est loin d'être constante pour le même animal, lors même qu'il est soumis à une alimentation identique; les différences sont du même ordre que celles que l'on rencontre pour différents individus de la même espèce, soumis au même régime. Les variations ne présentent d'ailleurs

Digitized by Google

aucune relation simple avec les poids absolus des animaux.

L'expérience 35 a été faite sur le même chien A qui avait servi aux expériences 27, 28 et 29; seulement l'animal était nourri, depuis plusieurs jours, avec une pâtée faite de pain, d'eaux grasses et d'une très-petite quantité de viande. Il y eut encore de l'azote exhalé, mais le poids de ce gaz a été seulement les 0,00038 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé a été trouvé de 0,913, par conséquent *beaucoup plus considérable* que dans les expériences où le même chien était nourri de viande. Enfin, le poids de l'oxygène consommé par heure a été de 8gr,848; la consommation d'oxygène a donc été plus grande que lorsque le même animal était nourri à la viande.

Cette expérience présente, en outre, une circonstance très-remarquable, savoir, un dégagement considérable de gaz hydrogène pur qui s'élève à près de 2 litres. Nul doute que ce gaz n'ait été exhalé pendant les vomissements fréquents que l'animal a éprouvés dans la cloche. Il est très-probable que, pendant la digestion, les matières alimentaires dégagent dans l'estomac de l'hydrogène pur, mais que la plus grande partie de ce gaz se brûle de nouveau, sous l'influence des matières en fermentation, et qu'il n'en sort du corps de l'animal que de très-petites quantités. Dans l'expérience qui nous occupe, ce gaz a été rejeté dans l'atmosphère pendant les vomissements, et a échappé ainsi à la combustion qu'il aurait subie dans les organes digestifs. MM. Chevreul et Magendie ont constaté, en effet, sur des suppliciés, que les gaz renfermés dans les intestins contenaient une proportion considérable de gaz hydrogène, et nous avons, nous-mêmes, reconnu l'existence d'une grande quantité d'hydrogène dans le gaz retiré du canal intestinal d'un chien.

Le chien F, de l'expérience 36, était nourri depuis longtemps avec une pâtée formée de pain et d'eau grasse; l'expé-

Digitized by Google

rience n'a présenté aucune circonstance extraordinaire. Il y a encore eu dégagement d'azote, le poids du gaz exhalé a été les 0,0080 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et le poids de l'oxygène consommé a été trouvé de 0,943, c'est-à-dire encore plus fort que dans l'expérience 34. Le poids de l'oxygène consommé par heure a été de 1gr,100 pour le poids de l'animal ramené à 1 kilogramme.

Ainsi les expériences 35 et 36, comparées aux expériences 27, 28, 29, 30, 31, 32 et 34, montrent que, *pour des quantités égales d'oxygène consommées, la proportion d'acide carbonique produite est beaucoup plus forte lorsque les chiens sont soumis à une alimentation féculente, que lorsqu'ils sont nourris avec de la viande.* Avec la nourriture féculente, le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé est de 0,928; tandis que, lorsque les chiens sont nourris avec de la viande, ce rapport n'est que de 0,745.

L'expérience 37 a été faite sur le chien F à l'inanition. Il n'avait pas mangé depuis trente-huit heures lorsqu'on l'introduisit dans la cloche où il resta vingt-trois heures. Nous trouvons ici, non pas une exhalation d'azote comme dans les expériences précédentes, mais une *absorption notable* de ce gaz; celle-ci s'élève, en effet, à 0,0060 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et le poids de l'oxygène consommé est 0,724; ainsi, il est seulement un peu plus faible que le rapport 0,745 que nous avons trouvé pour les chiens nourris à la viande. Le chien F consommait, par heure, 6gr,591 d'oxygène quand il était nourri au pain; le même animal n'en consomma, par heure, que 5gr,054 quand il fut à l'inanition.

L'expérience 38 se rapporte au même chien F, auquel on avait donné seulement de la graisse de mouton depuis sa sortie de la cloche après l'expérience 37. Il n'y a eu ni

Digitized by Google

dégagement ni absorption sensibles d'azote. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et le poids de l'oxygène consommé a été plus faible encore que quand l'animal était à l'inanition, car il s'est élevé seulement à 0,694. Le chien a consommé, par heure, 6gr,261 d'oxygène, c'est-à-dire, un peu moins qu'il n'en avait consommé dans le même temps quand il était nourri au pain.

Enfin, l'expérience 33 a été faite sur un chien nourri à la viande, mais dont tout le corps avait été enduit de gélatine. Cette expérience n'a rien présenté de particulier; les résultats ont été semblables à ceux que nous avons trouvés dans les expériences 27, 28, 29, 30, 31, 32 et 34.

III. — Expériences sur des marmottes.

Nous avons fait, pendant l'hiver et le printemps de 1848, des expériences comparatives sur la perspiration des marmottes assoupies et éveillées. Les animaux nous avaient été envoyés par M. le professeur Sacc, de Neufchâtel. Cet habile physiologiste les avait soumis à une série de recherches, et se proposait d'étudier leur respiration, lorsqu'il apprit que nous nous occupions depuis longtemps d'études semblables. Avec une abnégation dont nous devons le remercier ici, il nous envoya les quatre marmottes qu'il avait conservées, et nous adressa, en même temps, les résultats de ses premières recherches; nous en extrairons ceux qui nous paraissent les plus importants.

« Les marmottes avaient été trouvées dans le canton d'Unterwalden, à la fin d'octobre 1845; elles étaient très-farouches, excepté la plus jeune qui s'apprivoisa assez pour se laisser toucher sans résistance. Elles furent nourries d'herbe, de trèfle et de feuilles de choux. A la fin d'octobre 1846, elles s'engourdirent toutes, et ne se réveillèrent complétement qu'au commencement d'avril 1847, quoiqu'elles fussent placées dans une chambre bien éclairée, et dont la

Digitized by Google

température variait de 10 à 15 degrés. Elles restèrent éveillées et très-vives jusqu'au mois de novembre 1847, époque à laquelle M. Sacc entreprit sur elles des observations suivies. Nous ne suivrons l'auteur qu'à partir du moment où il a soumis les animaux à des pesées régulières.

Le 7 janvier, les marmottes sont complétement engourdies le matin, mais quelques-unes se réveillent vers le milieu de la journée, car on trouve des déjections solides et liquides, quoiqu'en très-petite quantité.

Le 8, la température était de + 5 degrés. On pèse les quatre marmottes qui, bien qu'engourdies, donnent des symptômes de vie lorsqu'on les touche, surtout la marmotte B.

A pèse.. 2226gr,1 B. 1182,7 C. 2837,2 D. 3027,1

Le 10 janvier, à 10 heures du matin, A est totalement engourdi; les trois autres, et surtout B, donnent des signes de sentiment. On leur trouve les poids suivants :

A.. 2228,4 B.. 1175,7 C.. 2834,6 D.. 3023,9

Le 13 janvier, on les pèse de nouveau. C est le plus endormi, vient ensuite B, puis D, et enfin A qui paraît vouloir se réveiller.

A.. 2225,9 B.. 1175,7 C.. 2835,9 D.. 3021,7

Le 15 janvier, par un beau soleil qui fait suite à plusieurs jours d'un froid vif, on pèse les animaux. A part le train de derrière, A est sorti de léthargie et se soustrait à la main qui le touche, en donnant des signes de grande frayeur; il n'a donc plus conscience de ses actes, puisque, de privé qu'il était, il est devenu très-farouche. B et C commencent à sortir d'engourdissement; D est en pleine torpeur.

A.. » B.. 1174,5 C.. 2830,1 D.. 3024,0

Les 16 et 17 janvier, beau soleil continu; aussi ne doit-on pas s'étonner si, le 17 à 10 heures, la marmotte A, quoique

Digitized by Google

endormie, ouvre les yeux lorsqu'on la manie. Le soleil ne donne cependant jamais sur la cage des animaux.

A.. 2201,9 B.. 1168,5 C.. 2830,1 D.. 3018,1

A est le plus éveillé, vient ensuite C, puis B et D qui sont presque au même degré de torpeur, c'est-à-dire, sensibilité sans mouvement.

Le 19 janvier, on trouve des déjections solides et liquides provenant de C et D, qui sont assez éveillés pour qu'il devienne impossible de les peser. A et B s'agitent sur la balance; A a les yeux fermés, tandis qu'ils sont entr'ouverts chez B.

A.. 2200,4 B.. 1166,7

Le 21 janvier, toutes les marmottes dorment; A s'agite un peu, B un peu plus; C et D sont en pleine torpeur.

A.. 2197,3 B.. 1166,1 C.. 2767,3 D.. 2947,9

Le 22 janvier, la température de l'appartement était + 4 degrés. B est complétement éveillé, C s'agite sur la balance, A et D sont dans un profond sommeil.

A.. 2199,4 B.. » C.. 2766,1 D.. 2949,0

Dans la nuit du 21 au 22 janvier, B rend des déjections solides et liquides.

Le 24 janvier, par une température intérieure de + 3 degrés, A respire visiblement, quoiqu'il soit endormi; C est dans la torpeur la plus profonde.

A.. 2197,4 B.. 1095,4 C.. 2767,2 D.. 2945,5

Le 26 janvier, la température intérieure est de + 4 degrés, et le soleil luit. On trouve des déjections solides et liquides provenant de A, qui est tiède, entr'ouvre les yeux et s'agite; D est le plus profondément endormi.

A.. 2153,0 B.. 1094,7 C.. 2760,2 D.. 2944,6

Le 28 janvier, la température intérieure est de + 4 de-

Digitized by Google

grés une forte bise souffle. A est le moins endormi, il s'agite un peu; C est le plus profondément endormi.

A.. 2153,5 B.. 1094,3 C. 2761,4 D.. 2945,2

Le 29 janvier, le temps est fort beau et le soleil luit.

Le 30 janvier, et par une température intérieure de + 6 degrés,

A.. 2150,9 B.. 1088,4 C. 2759,8 D.. »

B s'agite, C est le plus endormi; D est totalement éveillé et rend des déjections solides et liquides.

Le 31 janvier, la température intérieure est de + 5 degrés, et il dégèle.

A.. 2149,6 B.. 1087,8 C.. 2757,2 D.. 2899,6

D est le moins endormi, viennent ensuite A et D; C est le plus endormi.

Le 2 février, il gèle; la température intérieure est de + 8 degrés, le soleil paraît à 10 heures.

A.. 2149,1 B.. 1087,3 C.. 2758,2 D.. 2900,5

C et D sont les plus endormis; leur respiration, quoique fort lente, est encore perceptible.

Le 4 février, il gèle, et la température intérieure est de + 8 degrés.

A.. » B.. 1085,8 C.. » D. »

C est complétement éveillé, vient ensuite A, puis D; B s'agite sur la balance.

Toutes les marmottes sont éveillées le 5 février, quoiqu'il gèle. Le soleil est très-vif.

Le 6 février, il gèle pendant la nuit; la pluie tombe avec abondance, et la température intérieure est de + 8 degrés.

A.. 2133,5 B.. 1079,0 C. 2735,7 D.. 2889,0

C est le moins endormi, ensuite viennent A, B et D; ce dernier est dans une torpeur assez profonde.

Digitized by Google

Le 8 février, il dégèle; le soleil luit, et la température intérieure est de 10 degrés.

A.. 2133,8 B.. 1078,5 C.. 2735,3 D.. 2889,4

A et D sont les plus endormis, B l'est le moins.

Le 10 février, il pleut, et la température intérieure s'élève à + 11 degrés.

A.. 2132,4 B.. 1077,9 C.. 2737,0 D.. 2889,4

C est le plus endormi, viennent ensuite D, B et A; ce dernier l'est le moins.

Le 11 février, toutes les marmottes dorment.

Le 12 février, il dégèle, et la température intérieure est de + 12 degrés.

A.. » B.. 1077,0 C.. 2736,5 D.. »

A et D sont complétement éveillés.

Dans la nuit du 12 au 13 février, il gèle fortement; la température intérieure est de + 12 degrés, le soleil est magnifique tout le jour. Les marmottes sont parfaitement éveillées et très-vives, elles refusent néanmoins de manger.

Le 14 février, il gèle pendant la nuit; le soleil luit, la température intérieure est de 11 degrés.

A.. » B.. 1072,2 C.. 2681,9 D.. 2876,5

A est entièrement éveillé, B s'agite.

Le 15 février, il gèle pendant la nuit; un épais brouillard remplit l'atmosphère, et la température intérieure est de 10 degrés.

A.. 2093,8 B.. 1071,6 C.. 2677,8 D.. 2873,2

Le 17 février, il dégèle et le soleil luit; la température intérieure est de + 10 degrés.

A.. 2092,3 B.. 1071,0 C.. 2677,3 D.. 2874,3

D est le plus endormi, vient ensuite B, puis A; C est le plus éveillé.

Digitized by Google

Il gèle dans la nuit du 17 au 18 février; le 18, il fait du brouillard, et la température intérieure est de + 10 degrés.

A.. 2079,9 B.. 1021,9 C . 2675,1 D.. 2860,7

Les marmottes sont éveillées, surtout A et B; C est le plus endormi.

Le 21 février, il neige; la température intérieure est à + 9 degrés.

A.. 2078,4 B.. 1017,8 C.. 2673,4 D.. 2860,0

B et D sont les plus endormis, A est le plus éveillé. Le même jour, à 11 heures, les marmottes sont emballées dans une caisse avec du foin, et expédiées pour Paris par la malle-poste. »

La caisse arriva à Paris pendant les journées de la révolution de février, et ce ne fut que huit jours après qu'il nous fut possible de la retirer. Les quatre marmottes furent trouvées éveillées; on leur donna des feuilles de choux et de salade, mais elles n'y touchèrent pas les premiers jours. Quelques jours après, la température s'étant abaissée, les marmottes C et D s'endormirent profondément; les marmottes A et B restèrent, au contraire, très-vives, et commencèrent à manger. Ces dernières ne s'engourdirent plus, bien que la température descendît souvent à + 4 degrés; elles mangeaient, chaque jour, avec avidité, la ration de feuilles de choux, de salade et d'autres légumes qu'on leur donnait. Elles furent séparées des marmottes endormies C et D.

On déduit des pesées faites par M. Sacc sur les marmottes, pendant les mois de janvier et de février, plusieurs résultats importants.

Digitized by Google

Le 8 janvier, les marmottes pesaient :

A 2226gr,1 B 1182,7 C 2837,2 D 3027,1

Le 21 février, elles pesaient :

	A	B	C	D
	2078,4	1017,8	2673,4	2860,0
Perte de poids.	147,7	164,9	163,8	167,1
ou	0,066	0,139	0,058	0,057

du poids primitif. La perte proportionnelle a été d'autant moindre que l'animal était plus gros.

M. Sacc déduit de ces mêmes pesées ce résultat curieux, que, *dans l'état de torpeur complète, les marmottes augmentent souvent de poids d'une manière très-sensible.* En effet,

Du 8 au 10	janvier,	A	a augmenté de	gr 2,3
10 au 13	»	C	»	1,3
13 au 15	»	D	»	2,3
21 au 22	»	D	»	1,1
22 au 24	»	C	»	1,1
26 au 28	»	C	»	1,2
31 au 2	février,	C	»	1,0
8 au 10	»	C	»	1,7
15 au 17	»	D	»	1,1

Il est facile, en se reportant aux explications qui accompagnent les pesées de M. Sacc, de reconnaître que les augmentations de poids ont toujours eu lieu sur les marmottes le plus complétement endormies.

Cette augmentation de poids ne continue que jusqu'à ce que l'animal, pendant un réveil partiel, expulse de l'urine.

38e *Expérience* bis.

Les deux grosses marmottes C et D sont placées le 1er mars 1848 dans l'appareil; elles sont toutes deux profondément assoupies. Elles sont restées dans le même état jusqu'au 8 mars au soir. La pipette à oxygène qui communiquait alors avec la cloche, renfermait beaucoup plus d'oxygène qu'il n'en fallait pour entretenir la respiration jusqu'au lendemain, en admettant que la consomma-

Digitized by Google

tion en restât constante. Néanmoins, le 9 mars au matin, non-seulement tout l'oxygène de la pipette avait été consommé, mais encore le manomètre montrait une dépression de près de 200 millimètres. La marmotte D n'était plus dans la position où elle se trouvait la veille, et lorsqu'on sortit les animaux de la cloche, on reconnut qu'elle était morte. Cette marmotte s'était évidemment éveillée pendant la nuit; elle eut bientôt consommé l'oxygène qui était à sa disposition, et périt asphyxiée par suite du manque de ce gaz. La marmotte C, qui ne s'était pas réveillée, était restée pendant plusieurs heures dans l'atmosphère où avait péri la marmotte D, et elle n'en avait éprouvé aucune influence fâcheuse; car, mise auprès du feu, elle ne tarda pas à se réveiller, et à reprendre sa vivacité et sa méchanceté ordinaires.

L'expérience fut d'ailleurs terminée comme de coutume, après avoir introduit de l'oxygène dans la cloche pour rétablir la pression initiale. Durée approximative, cent soixante-quatorze heures. T = 13°,6.

Le deux marmottes pesaient ensemble, avant l'expérience. 5430^{gr}

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,08
Oxygène.....	20,50
Azote.....	79,42
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. + 0^{mm},2

Poids de l'oxygène consommé.....	45^{gr},519
Poids de l'acide carbonique produit.	36,800
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	26,764
Poids de l'azote exhalé.....	0,132

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,588

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0029

Poids de l'oxygène consommé par heure ..... 0^{gr},261

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0^{gr},048

Digitized by Google

39e *Expérience.*

Les deux petites marmottes A et B éveillées; elles sont très-vives, se débattent beaucoup dans la cloche et mettent en morceaux le petit plancher de bois sur lequel elles posent. Poids des deux marmottes, 3115 grammes. Durée de l'expérience, $22^h\ 35^m$. T = 12°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,53
Hydrogène protocarboné.	0,10
Oxygène.....	17,80
Azote.....	81,57
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale .. + 0^{mm},6

Poids de l'oxygène consommé.....	84gr,613
Poids de l'acide carbonique exhalé.....	92,584
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	67,334
Poids de l'azote exhalé....	1,199
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,796
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.	0,0141
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	3gr,744
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,198

40e *Expérience.*

La marmotte C, que l'on avait éveillée en la plaçant devant le feu après l'expérience 38 *bis*, s'est endormie de nouveau, le même jour, lorsqu'elle s'est trouvée exposée à une température plus basse. On l'a remise dans la cloche le 23 mars; elle pesait 2735 grammes. L'expérience dura 117^h45^m, pendant lesquelles on n'aperçut aucun mouvement de l'animal. T = 8°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.	0,03
Oxygène.	21,44
Azote.....	78,56
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale... + $1^{mm},1$

Poids de l'oxygène consommé.....	$13^{gr},088$
Poids de l'acide carbonique produit.....	7,174
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	5,217
Poids de l'azote *absorbé*.....	0,228
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,399
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et le poids de l'oxygène consommé.	0,0174
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$0^{gr},111$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$0^{gr},040$

La température de l'animal, prise dans le rectum, au sortir de la cloche, est de 12°.

41e *Expérience.*

La même marmotte C, quelques jours après l'expérience précédente (27 mars, à midi) : elle est moins fortement endormie; on aperçoit, de temps en temps, des mouvements d'inspiration et d'expiration, et elle entr'ouvre les yeux lorsqu'on la touche. Poids de la marmotte avant l'expérience, 2734 grammes. Le 30 mars, vers 4^h30^m, les $\frac{2}{3}$ du gaz de la pipette à oxygène en communication avec l'appareil étaient à peine consommés, lorsque la marmotte ouvrit les yeux et commença à s'agiter; ses mouvements devinrent de plus en plus rapides et la consommation d'oxygène de plus en plus considérable; à 5^h15^m, le reste du gaz oxygène (environ 6 grammes) était passé dans la cloche. Au moment de terminer l'expérience, on a laissé la température de l'eau du manchon un peu au-dessous de ce qu'elle était au commencement, afin de compenser, au moins approximativement, l'effet produit sur le gaz de la cloche par le réchauffement de l'animal. La température de la marmotte prise dans l'anus, au commencement de l'expérience, était de 11°,2; cette température, déterminée au moment de sa sortie, était de 22°,1. Elle s'est ensuite élevée successivement, et, cinq heures après la sortie de l'animal, elle était montée à 29 degrés : la marmotte était alors très-vive et très-méchante. La température de la marmotte B, qui était éveillée depuis longtemps, et qui avait mangé, a été trouvée,

Digitized by Google

dans les mêmes circonstances, de 35 degrés. Durée de l'expérience, soixante-dix-sept heures. T = 10°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	1,37
Oxygène.....	19,43
Azote.....	79,20
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale... $-8^{mm},9$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	17,972
Poids de l'acide carbonique produit.....	13,529
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	9,839
Poids de l'azote exhalé.....	0,000
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé....	0,547
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé par heure.....	0,000
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$0^{gr},233$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$0^{gr},085$

42e *Expérience.*

La même marmotte C, remise dans sa cage avec de la nourriture, est restée parfaitement éveillée et a mangé; le 3 avril, on la remet dans l'appareil avec des carottes auxquelles elle ne touche pas. L'expérience dure $41^h\ 10^m$. On n'a pas pu prendre, exactement, la température de l'animal, ni au commencement ni à la fin de l'expérience, parce qu'il se débat vivement. Cependant on a trouvé, à la fin, environ 34 degrés dans l'anus. T = 15°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche.	2735^{gr}
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche....	2636
Perte.....	99

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique....	1,30
Oxygène	18,70
Azote.....	80,00
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $0^{mm},5$

Poids de l'oxygène consommé	$85^{gr},738$
Poids de l'acide carbonique produit	80,926
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique	58,855
Poids de l'azote exhalé	0,404
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,686
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé	0,0047
Poids de l'oxygène consommé par heure	$2^{gr},082$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal	$0^{gr},774$

43e *Expérience.*

Le 17 juin, la même marmotte C est replacée dans l'appareil; on met à sa disposition des trognons de choux et des fanes de carottes. Le premier jour, elle a mangé entièrement les fanes de carottes, et presque complétement les trognons de choux; mais, le second jour, elle s'assoupit, et la consommation d'oxygène s'affaiblit notablement. Elle se réveille complétement au moment où on la sort de la cloche. L'expérience dure soixante-huit heures. T = 20°.

Poids de la marmotte à son entrée dans la cloche.	2207^{gr}
Poids de la marmotte à sa sortie de la cloche	1927
Perte	280

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	1,00
Hydrogène	0,10
Hydrog. protocarboné	1,50
Oxygène	19,91
Azote	77,49
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $0^{mm},5$

Poids de l'oxygène consommé.....	$82^{gr},908$
Poids de l'acide carbonique produit.....	74,711
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	54,335
Poids de l'azote *absorbé*.....	0,762
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,655
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0092
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$1^{gr},219$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$0^{gr},589$

L'expérience 39 a été faite sur les petites marmottes A et B, éveillées depuis longtemps, très-vives, et se nourrissant bien. On peut comparer la respiration de ces animaux à celle des lapins, qui prennent à peu près la même nourriture. Dans l'expérience sur les marmottes, il y a eu exhalation d'azote; le poids du gaz exhalé a été les 0,0141 du poids de l'oxygène consommé; la moyenne des expériences 16 à 25 (page 412) sur les lapins a donné une exhalation d'azote qui n'a été que de 0,0041 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre l'oxygène de l'acide carbonique produit et l'oxygène consommé a été 0,796 dans l'expérience sur les marmottes; la moyenne des expériences 16 à 25 (page 412) sur les lapins nourris avec des légumes donne 0,919; ainsi ce rapport est notablement plus fort chez ces derniers animaux.

Le poids de l'oxygène consommé en une heure, par 1 kilogramme de l'animal, a été

Pour les marmottes. $1^{gr},198$ Pour les lapins... $0^{gr},918$

Les expériences 40, 41, 42 et 43 ont été faites sur la même marmotte C à différents états d'assoupissement.

Dans l'expérience 40, l'animal était complétement engourdi; il était froid, et se laissait manier sans donner

Digitized by Google

aucun signe de vie. Il est resté cent dix-huit heures dans la cloche, sans changer de position; on a cru reconnaître seulement, de loin en loin, de faibles mouvements d'inspiration et d'expiration. La respiration a été extrêmement lente, car elle n'a consommé, dans l'espace de près de cinq jours, que 13 grammes d'oxygène. La température intérieure de la marmotte n'était que de 12 degrés au sortir de l'appareil; elle n'était supérieure que de 4 degrés à celle du milieu ambiant.

Il y a eu *absorption* d'azote; celle-ci s'est élevée à 0,0174 du poids de l'oxygène consommé.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été d'une faiblesse remarquable, car il s'élève seulement à 0,399.

Le poids de l'oxygène consommé en une heure par la marmotte a été de $0^{gr},111$; et, si l'on rapporte ce poids à 1 kilogramme de l'animal, il n'est que de 0,040. Ainsi, la consommation de l'oxygène que fait la marmotte dans l'état de torpeur complète n'est guère que le $\frac{1}{30}$ de celle qui a lieu lorsque l'animal est complétement éveillé, en adoptant, pour ce dernier cas, la consommation que nous avons trouvée pour les marmottes A et B dans l'expérience 39.

Dans l'expérience 41, la marmotte était moins engourdie que dans l'expérience 40; elle s'est même complétement réveillée dans la cloche, après un séjour de soixante-seize heures : pendant ce temps, sa respiration avait été extrêmement lente, car il n'y avait eu qu'environ 12 grammes d'oxygène consommé. Le réveil a été très-prompt : on a reconnu d'abord des mouvements plus étendus et plus rapides d'inspiration et d'expiration; puis l'animal a ouvert les yeux, s'est mis à trembler de toute la partie antérieure du corps. Sa respiration est devenue très-active; en moins de trois quarts d'heure, la marmotte consomma la moitié de la quantité d'oxygène qu'elle avait absorbée en soixante-seize heures pendant son sommeil. Lorsqu'on la retira de

Digitized by Google

la cloche, elle était fort méchante, et cherchait à mordre les personnes qui l'approchaient; mais elle ne pouvait pas courir, parce que ses jambes de derrière étaient encore engourdies. La température de l'animal avait été prise, avant son entrée dans l'appareil, au moyen d'un thermomètre introduit dans le rectum : elle était de 11°,2. Cette température, déterminée de la même manière immédiatement après sa sortie, fut trouvée de 22°,1. Cinq heures après, la marmotte était très-vive : on parvint néanmoins à mesurer sa température; celle-ci fut trouvée de 32 à 33 degrés.

Dans cette expérience, qui se rapporte en partie à l'état de torpeur de l'animal et en partie à sa période de réveil, on n'a trouvé ni azote exhalé, ni azote absorbé. Le rapport entre la quantité d'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et la quantité d'oxygène consommé a été de 0,547; c'est-à-dire, intermédiaire entre celui de l'expérience 40 qui se rapporte à la même marmotte dans l'état de torpeur absolue, et celui de l'expérience 39 faite sur les deux marmottes A et B complétement éveillées.

La consommation d'oxygène faite en une heure par la marmotte pendant son sommeil, a été de 0gr,158 environ; c'est-à-dire, plus grande d'un tiers que celle qui avait eu lieu pendant l'expérience 40. Enfin, pendant sa période de réveil qui a duré trois quarts d'heure, elle a consommé environ 6 grammes d'oxygène; cela donne une consommation par heure de 8 grammes, qui est beaucoup plus grande que celle que nous avons trouvée dans l'expérience 40 pour les marmottes complétement éveillées.

Pendant l'expérience 42, la marmotte C est restée éveillée, mais elle n'a pas touché à la nourriture qu'on lui avait mise dans la cloche. Il y a eu exhalation d'azote dont le poids a été les 0,0047 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et l'oxygène consommé a été de 0,686, c'est-à-dire notable-

Digitized by Google

ment plus faible que celui que nous avons trouvé dans l'expérience 40 sur les petites marmottes; mais il faut observer que la marmotte C mangeait très-peu à cette époque, même lorsqu'elle était dans sa cage. Elle a consommé, par heure, $2^{gr},082$ d'oxygène.

L'expérience 43 a été faite, le 17 juin, sur la même marmotte C éveillée depuis longtemps. Le premier jour, elle a mangé la plus grande partie de la nourriture qu'on lui avait mise dans la cloche; sa respiration fut très-active, mais, le même jour, elle s'endormit profondément, quoique la température de l'eau du manchon fût de 20 degrés. La consommation d'oxygène se ralentit considérablement, bien que les mouvements de la respiration fussent très-visibles; elle ne se réveilla qu'au moment où on la retira de la cloche. Pendant la première période de cette expérience, la marmotte consomma, par heure, environ $1^{gr},7$ d'oxygène, tandis que dans la seconde période, c'est-à-dire pendant son sommeil, elle n'en consomma que $0^{gr},8$. La consommation moyenne fut de $1^{gr},219$ par heure.

Il y eut une *absorption* d'azote fort notable, qui s'éleva à 0,0092 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique à l'oxygène consommé est de 0,655, c'est-à-dire, encore plus faible que dans l'expérience 42; ce qu'il faut attribuer au sommeil de l'animal pendant une partie de l'expérience.

Enfin l'expérience 38 *bis*, qui a été faite la première par ordre de date, a présenté une particularité très-remarquable. Nous avons dit, dans le procès-verbal de cette expérience, que l'une des marmottes était morte dans l'appareil. Les deux marmottes C et D avaient été placées dans la cloche, à l'état de torpeur complète; elles restèrent dans cet état pendant près de huit jours, et la consommation d'oxygène était très-faible. Le soir du huitième jour, la pipette à gaz oxygène contenait une quantité de gaz capable d'entretenir la respiration de ces deux

Digitized by Google

animaux pendant plus de deux jours, en admettant que la consommation d'oxygène restât la même que les jours précédents. Mais la marmotte D se réveilla pendant la nuit, sa respiration devint très-active (ainsi que nous l'avons reconnu dans l'expérience 41), la quantité d'oxygène qu'elle avait à sa disposition fut bientôt consommée, et l'animal mourut asphyxié. La seconde marmotte C, qui était restée endormie, ne fut retirée que cinq ou six heures après la mort de la marmotte D; elle avait séjourné, pendant tout ce temps, dans l'atmosphère qui avait asphyxié sa compagne; et, cependant, elle n'en avait éprouvé aucun effet fâcheux, car, placée devant une cheminée, elle ne tarda pas à se réveiller et à courir dans la chambre. On voit par là que, pour les marmottes éveillées, les conditions d'existence ne sont pas les mêmes que pour les marmottes en torpeur; que les premières s'asphyxient, comme les autres mammifères, dans une atmosphère dépouillée d'oxygène, où elles pourraient séjourner longtemps, sans inconvénient, si elles étaient engourdies. On peut en conclure également que ces animaux ne peuvent pas, par leur volonté seule, passer à l'état de torpeur pour échapper à l'action délétère de cette atmosphère.

Les deux marmottes consommèrent moyennement, par heure, $0^{gr},261$ d'oxygène, et cette consommation, rapportée à un poids de 1 kilogramme de ces animaux, n'a été que de $0^{gr},048$, c'est-à-dire à peu près la même que dans l'expérience 40 faite sur la marmotte C en pleine torpeur. Il y eut une petite quantité d'azote exhalé qui s'éleva à 0,0029 du poids de l'oxygène consommé; mais le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé fut beaucoup plus grand que dans l'expérience 40, savoir, 0,588; ce qu'il faut attribuer, en grande partie, au réveil de l'une des marmottes.

Les expériences que nous avons faites sur les marmottes engourdies donnent l'explication très-simple du fait observé

Digitized by Google

par M. Sacc, savoir : que souvent, les marmottes en torpeur augmentent sensiblement de poids, bien qu'elles ne prennent aucune nourriture. En effet, dans l'expérience 40, faite sur la marmotte C complétement engourdie et froide, nous avons trouvé que le poids de l'oxygène consommé était de $13^{gr},088$; tandis que le poids de l'acide carbonique exhalé ne s'élevait qu'à $7^{gr},174$. Or, l'animal n'a rendu ni excréments ni urine ; si donc, d'un autre côté, il n'avait pas perdu d'eau par la transpiration, son poids se serait augmenté de $5^{gr},914$ par la respiration seule pendant les cinq jours qu'il est resté dans l'appareil. Il a certainement perdu une partie de son eau par la transpiration, mais cette perte a pu être beaucoup moindre que $5^{gr},9$, parce que la température de l'animal était très-basse, et supérieure seulement de 4 degrés à celle du milieu ambiant.

Nous aurions désiré pouvoir multiplier davantage nos expériences sur les marmottes hibernantes ; malheureusement, ces animaux ne nous sont parvenus qu'à une époque très-avancée de l'hiver, et il nous a été impossible d'étudier plus complétement cet intéressant phénomène, dont les circonstances sont encore si peu connues.

EXPÉRIENCES SUR LES OISEAUX.

I. — Poules.

44e *Expérience.*

Poule A, pesant 1 280 grammes, nourrie avec de l'avoine : on lui met dans la cloche 135 grammes d'avoine et 360 grammes d'eau. L'avoine est mangée presque entièrement, il reste très-peu d'eau. Durée de l'expérience, $63^h\,5^m$. $T = 19^o$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,89
Oxygène.....	17,53
Azote.....	81,58
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $6^{mm},7$

Poids de l'oxygène consommé..... $85^{gr},423$
Poids de l'acide carbonique produit..... 107,232
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 77,987
Poids de l'azote exhalé..... 0,931
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,913
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0109
Poids de l'oxygène consommé par heure..... $1^{gr},354$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},058$

45e Expérience.

La même poule A, nourrie à l'avoine; on lui met dans la cloche 330 grammes d'avoine et 265 grammes d'eau, qui sont entièrement consommés. L'expérience dure quatre-vingt-sept heures. Poids de l'animal 1 280 grammes. T = 23°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,42
Hydrogène carboné...	0,35
Oxygène.....	19,03
Azote.....	80,20
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé..... $117^{gr},676$
Poids de l'acide carbonique produit..... 156,426
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carboniq. 113,764
Poids de l'azote exhalé..... 0,466
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,967
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0039
Poids de l'oxygène consommé par heure..... $1^{gr},353$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},057$

Digitized by Google

46e *Expérience.*

Vieille poule B, pesant 2020 grammes, nourrie à l'avoine. On lui met dans la cloche 255 grammes d'avoine et 250 grammes d'eau, qu'elle consomme entièrement. Durée de l'expérience, $24^h 40^m$. Il est arrivé un accident dans cette expérience : le mécanisme s'est arrêté pendant la nuit, et le lendemain matin, on a trouvé l'animal presque asphyxié. On a remis immédiatement la machine en mouvement, et la poule s'est rétablie promptement quand l'air a été purifié, de nouveau, par le jeu de l'appareil. Elle ne paraissait pas éprouver de malaise lorsqu'on l'a sortie de la cloche. $T = 7^o$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,58
Oxygène.....	19,53
Azote.....	79,89
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $1^{mm},8$

Poids de l'oxygène consommé.....	$52^{gr},959$
Poids de l'acide carbonique produit.....	54,596
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	39,706
Poids de l'azote exhalé.....	0,290
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,749
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0055
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$2^{gr},148$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},063$

47e *Expérience.*

La même poule B; on l'a laissée pendant huit jours à son régime ordinaire de grain, puis on l'a soumise à une nouvelle expérience. Elle a mangé, pendant l'expérience, environ 220 grammes d'avoine, et bu 150 centimètres cubes d'eau. L'expérience a duré $46^h 30^m$. $T = 9^o$.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,20
Oxygène.....	19,34
Azote.....	79,46
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.... 0,0

Poids de l'oxygène consommé.....	86gr,966
Poids de l'acide carbonique produit.....	93,018
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	67,649
Poids de l'azote exhalé.....	0,187

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,874

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0022

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 1gr,870

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,935

48e *Expérience.*

Poule C, nourrie à l'avoine. On lui donne dans la cloche de l'avoine et de l'eau.

La poule pèse, avant l'expérience...	1506gr,7
La poule pèse, après l'expérience...	1554,5
Gain.....	47,8

Durée de l'expérience..... 52h 30m. T = 14°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,80
Hydrogène.....	0,38
Hydrog. protocarboné.	0,15
Oxygène.....	17,55
Azote.....	81,12
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale..... 0,0

Poids de l'oxygène consommé..... 87gr,105
Poids de l'acide carbonique produit. 119,494
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 86,905
Poids de l'azote exhalé.... 1,024

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,998
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0117

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 1gr,659
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,084

49e *Expérience.*

La même poule C, nourrie à l'avoine; on met à sa disposition, dans l'appareil, de l'avoine et de l'eau. L'expérience dure 51h 45m. T = 19°.

Poids de la poule avant l'expérience...	1530gr
Poids de la poule après l'expérience...	1563
Gain.....	33

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,31
Hydrog. protocarboné.	0,35
Oxygène.....	18,24
Azote.....	80,10
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 0mm,5

Poids de l'oxygène consommé..... 85gr,062
Poids de l'acide carbonique produit..... 115,385
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 83,916
Poids de l'azote exhalé..... 0,455

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,986
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0053

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 1gr,643
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,067

50e *Expérience.*

La même poule C, nourrie à l'avoine; on met dans la cloche de l'avoine et de l'eau. Durée de l'expérience, 49h 15m. T=15°.

	gr
Poids de la poule à son entrée dans la cloche.	1623,5
Poids de la poule à sa sortie de la cloche...	1597,0
Perte de poids.....	26,5

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique....	1,55
Hydrogène..... ...	0,62
Hydrog. protocarboné.	0,20
Oxygène.....	16,59
Azote.....	81,04
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. 0mm,2

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	87,452
Poids de l'acide carbonique produit.....	123,113
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	89,537
Poids de l'azote exhalé.....	0,948

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 1,024
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0108
Poids de l'oxygène consommé par heure..... 1gr,775
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,109

51e *Expérience.*

La même poule C, au sortir de la cloche après l'expérience précédente, est restée trente heures sans manger; on l'introduit dans la cloche sans lui donner de nourriture. L'expérience dure 49h 10m. T=23°.

Digitized by Google

Poids de la poule à son entrée dans la cloche.	1599gr
Poids de la poule à sa sortie de la cloche....	1427
Perte de poids.	172

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,48
Hydrogène.....	0,10
Hydrog. protocarboné.	0,12
Oxygène.....	24,30
Azote.....	75,00
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale...	0,0
	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	62,523
Poids de l'acide carbonique produit.....	60,792
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	44,212
Poids de l'azote absorbé.....	1,937
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé	0,707
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,031
Poids de l'oxygène consommé par heure....	1gr,269
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,846

La poule était très-affaiblie au sortir de l'appareil, elle se tenait à peine sur ses pattes. On lui donna de la viande par petites portions; le lendemain elle se trouva complétement rétablie; on continua le régime de la viande pendant deux jours pour la préparer à l'expérience 52.

52e *Expérience.*

La même poule C, nourrie à la viande. On lui met dans la cloche de la viande cuite, dont elle mange une partie. Durée de l'expérience, 46h 30m. T = 20°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche...	1699gr
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	1588
Perte... .	111

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,94
Hydrogène protocarboné.	0,40
Oxygène.....	21,55
Azote.....	77,11
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $1^{mm},1$

Poids de l'oxygène consommé.....	$82^{gr},105$
Poids de l'acide carbonique produit.....	86,610
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	62,990
Poids de l'azote absorbé.....	1,521
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,767
Rapport entre le poids de l'azote et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0185
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	$1^{gr},766$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},070$

53e *Expérience.*

Jeune poule D, nourrie au grain.

Elle pèse, avant l'expérience....	1021
Elle pèse, après l'expérience....	1081
Gain.....	60

Durée de l'expérience..... $55^h\,15^m$. T = 20.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,14
Hydrogène.....	0,32
Hydrogène protocarboné.	0,25
Oxygène.....	19,04
Azote.....	80,25
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale..... 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	83,585
Poids de l'acide carbonique produit.....	89,860
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	65,353
Poids de l'azote exhalé.....	0,556
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,782
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,00664
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	1gr,512
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,440

54e *Expérience.*

La même poule D, à jeun depuis vingt-quatre heures. On ne lui donne pas de nourriture dans la cloche : l'animal y séjourne soixante-deux heures. T = 21°.

Poids de la poule à son entrée dans la cloche.	1030
Poids de la poule à sa sortie de la cloche....	875
Perte de poids.....	155

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,30
Oxygène.....	21,70
Azote.....	78,00
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. + 1mm,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	64,759
Poids de l'acide carbonique produit.....	56,959
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique	41,425
Poids de l'azote absorbé.....	0,493
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,639
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0098

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $1^{gr},044$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},100$

55e *Expérience.*

La même poule D, après l'expérience 54, a été nourrie à la viande pendant plusieurs jours, puis elle a été remise dans la cloche avec de la viande cuite, à discrétion. Durée de l'expérience, 63^h45^m. T = 20°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche.	968^{gr}
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche....	864
Perte de poids.....	104

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,75
Hydrogène.....	0,27
Oxygène.....	19,13
Azote.....	79,85
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale... $-7^{mm},5$

Poids de l'oxygène consommé..... $66^{gr},321$
Poids de l'acide carbonique produit..... 57,164
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 41,574
Poids de l'azote absorbé..... 0,030
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,636
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,00004
Poids de l'oxygène consommé par heure..... $1^{gr},332$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},480$

56e *Expérience.*

La même poule D est restée au régime de la viande pendant deux jours; on l'a remise de nouveau dans l'appareil avec 112 grammes de viande, dont elle a mangé 91 grammes.

Digitized by Google

Elle pesait, avant l'expérience..	951gr
Elle pesait, après l'expérience..	916
Perte.....	35

Durée de l'expérience..... 44h15m. T = 20°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,78
Oxygène.....	17,95
Azote.....	81,27
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale... — 2mm,6

Poids de l'oxygène consommé.....	66gr,321
Poids de l'acide carbonique produit.....	57,164
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	41,574
Poids de l'azote exhalé.....	0,906
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,627
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé.....	1,367
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	1gr,482
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,593

57e *Expérience.*

La même poule D, après avoir été mise pendant plusieurs jours au régime du grain, est soumise à une nouvelle expérience. On lui donne, dans la cloche, de l'eau et de l'avoine dont elle mange 112 grammes. Durée de l'expérience, quarante-sept heures. T = 22°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche...	981gr
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	1010
Gain.....	29

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique...	2,03
Hydrogène.....	0,88
Oxygène..... ...	16,76
Azote..... ..	80,33
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $0^{mm},7$

Poids de l'oxygène consommé..	$67^{gr},135$
Poids de l'acide carbonique produit.....	80,440
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	58,502
Poids de l'azote exhalé.....	0,553

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids d'oxygène consommé..... 0,871

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0082

Poids de l'oxygène consommé par heure....	$1^{gr},428$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},434$

58e *Expérience.*

La même poule D, nourrie pendant deux jours au pain, a été remise dans l'appareil; on lui donne du pain et de l'eau. L'expérience dure $45^h\ 15^m$. T = 19°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche.	1015^{gr}
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	972
Perte..	43

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	2,01
Hydrogène.....	0,14
Oxygène.....	16,55
Azote.....	81,30
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $1^{mm},0$

Poids de l'oxygène consommé.....	$67^{gr},181$
Poids de l'acide carbonique produit.....	90,201
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	65,601
Poids de l'azote exhalé.....	1,003

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,976

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0149

Poids de l'oxygène consommé par heure.. .	$1^{gr},485$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	$1^{gr},494$

59e *Expérience.*

La même poule D, à l'inanition; après l'expérience 58, on l'a laissée vingt-quatre heures sans manger, puis on l'a introduite de nouveau dans la cloche, sans nourriture. L'expérience dure $63^h\ 15^m$; l'animal est très-affaibli au sortir de l'appareil; il se tient à peine sur ses pattes; au bout de quelques jours, il est complétement rétabli. T = 19°.

Poids de la poule avant l'expérience.. ,	927^{gr}
Poids de la poule après l'expérience...	851
Perte.....	76

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,91
Oxygène.....	19,70
Azote.....	79,39
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $2^{mm},5$

Poids de l'oxygène consommé.....	$66^{gr},245$
Poids de l'acide carbonique produit.....	58,313
Poids de l'oxyg. contenu dans l'acide carbonique.	42,409
Poids de l'azote exhalé.....	0,013

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,640

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,00019

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 1gr,047

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,177

Les expériences 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 57 ont été faites sur des poules nourries au grain. Dans toutes ces expériences, il y a eu exhalation d'azote. Les poids de ce gaz dégagé ont été les fractions suivantes du poids de l'oxygène consommé :

Nos 44.....	0,0109	A
45.....	0,0039	A
47.....	0,0022	B
48.....	0,0117	C
49.....	0,0053	C
50.....	0,0108	C
53.....	0,0066	D
57.....	0,0082	D
Moyenne.....	0,0075	

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit, et le poids de l'oxygène consommé, a varié entre des limites plus étendues que pour les mammifères soumis à un régime d'alimentation identique. On a trouvé, en effet,

Nos 44.....	0,913	A
45.....	0,967	A
47.....	0,874	B
48.....	0,998	C
49.....	0,986	C
50.....	1,024	C
53.....	0,782	D
57.....	0,871	D
Moyenne.....	0,927	

Digitized by Google

En général, ce rapport a sa plus grande valeur dans les animaux qui prennent comparativement le plus de nourriture.

Le poids de l'oxygène consommé en une heure par 1 kilogramme de l'animal a été :

Nos 44.....	1gr,058	A
45.....	1,057	A
47.....	0,935	B
48..	1,084	C
49....	1,067	C
50..	1,109	C
53.....	1,440	D
57.....	1,434	D

La consommation d'oxygène a été la plus grande pour la poule D, dont le poids était le plus faible et qui était beaucoup plus jeune que les autres.

Dans l'expérience 46, la poule B était encore nourrie avec du grain, mais elle a été presque asphyxiée, par suite d'un accident survenu à l'appareil. Cette circonstance est, peut-être, la cause pour laquelle le rapport entre l'oxygène de l'acide carbonique et l'oxygène consommé est plus faible que dans les expériences que nous venons de citer.

Dans l'expérience 58, la poule D était nourrie avec du pain; sa respiration a présenté à peu près les mêmes circonstances que dans les expériences 53 et 57, où la même poule était nourrie avec de l'avoine. Le dégagement d'azote a été à peu près le même; la consommation d'oxygène, par heure, a été un peu plus forte, et le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été trouvé de 0,976, c'est-à-dire notablement plus grand que dans les expériences 53 et 57.

Les expériences 51, 54 et 59 se rapportent à des poules à l'état d'inanition. Dans l'expérience 59, il y a encore un dégagement d'azote, mais il est extrêmement faible, et de l'ordre des erreurs d'observation. Dans les deux autres, on a

Digitized by Google

trouvé, au contraire, une *absorption d'azote* très-notable; celle-ci a surtout été considérable dans l'expérience 51, où elle s'est élevée à 0,031 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé a été:

Nos 51.....	0,707	C
54.....	0,639	D
59.....	0,640	D

Ce rapport est donc beaucoup plus faible que dans les expériences où les poules étaient nourries avec du grain.

La consommation d'oxygène était aussi beaucoup plus petite pour les animaux à l'inanition : ainsi, la poule C à l'inanition n'a consommé que 1gr,269, tandis qu'elle en consommait moyennement 1gr,692 lorsqu'elle se nourrissait avec du grain. La poule D a consommé 1gr,045 quand elle était à l'inanition, et 1gr,470 quand elle était nourrie à l'avoine.

Les expériences 52, 55, 56 ont été faites sur des poules soumises au régime de la viande.

L'expérience 52 se rapporte à la poule C, nourrie à la viande, après avoir été à l'inanition dans l'expérience 51 qui avait suivi un régime ordinaire de grain.

L'expérience 55 a été faite sur la poule D, nourrie à la viande, après avoir été également à l'inanition dans l'expérience 54, qui a suivi un régime ordinaire de grain. L'expérience 56 a eu lieu sur la même poule D, dont on avait prolongé le régime de la viande.

Dans l'expérience 52, sur la poule C, on remarque une *absorption notable* d'azote; elle s'élève à 0,0185 du poids de l'oxygène consommé. Dans l'expérience 54, sur la poule D, on remarque encore une absorption d'azote, mais celle-ci est extrêmement faible, et tombe entre les limites des erreurs d'observation. Enfin, dans l'expérience 56, il y a eu de l'azote exhalé en proportion aussi grande

Digitized by Google

que lorsque l'animal était nourri avec du grain. Il est bon de remarquer que la poule C avait déterminé une absorption d'azote très-considérable (0,031) pendant son état d'inanition dans l'expérience 51, et que, pour la poule D à l'inanition (expérience 54), on a observé une absorption d'azote beaucoup plus faible (0,0098).

Les expériences 51, 54 et 52, 55, 56 semblent démontrer que, dans la respiration des poules à l'inanition, il y a, en général, *une absorption d'azote* qui peut s'élever jusqu'à 0,03 du poids de l'oxygène consommé; et que, lorsque les poules, après cet état d'inanition, sont soumises à un régime de viande, l'absorption d'azote continue encore pendant quelque temps, probablement jusqu'à ce que l'animal se soit habitué à ce nouveau régime; on observe alors de nouveau une exhalation d'azote (expérience 56), comme lorsque l'animal est soumis à son régime ordinaire de grain.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé est :

Nos 52.....	0,767	C
55.....	0,636	D
56.....	0,627	D

Il est donc beaucoup plus faible que pour les mêmes animaux nourris avec du grain, et il est sensiblement le même que lorsqu'ils sont à l'inanition. Ce résultat ne doit pas surprendre; car, lorsque l'animal est à l'inanition, il ne fournit pour aliment à la respiration que sa propre substance, qui est de même nature que la chair dont il se nourrissait pendant son régime de viande.

La consommation d'oxygène par heure a été

	gr
Pour la poule C nourrie à la viande, de.	1,766
Pour la même poule à l'inanition.....	1,269
Pour la même poule nourrie au grain...	1,710

Digitized by Google

Pour la poule D nourrie à la viande....	1,482	(56)
Pour la poule D à l'inanition...	1,044	(54)
Pour la poule D nourrie au grain.....	1,475	(53, 57, 58)

Ainsi, la consommation d'oxygène a été sensiblement la même lorsque les poules étaient nourries, à discrétion, avec du grain ou avec de la viande.

II. — Expériences sur des canards.

Nous avions pensé qu'aucun animal ne se prêterait mieux que le canard à l'étude des variations que subit la respiration, lorsqu'il est soumis à différents régimes d'alimentation, à cause de la facilité avec laquelle on peut gaver le canard d'une nourriture quelconque. L'animal que nous avions choisi était un jeune caneton de l'année, ayant l'air bien portant; mais il se montra très-sauvage, et refusa même de manger. Nous fûmes obligés de lui entonner la nourriture, de force, tous les jours, car il n'en prenait pas spontanément. Il fut placé cinq fois dans la cloche, sous l'influence de divers systèmes d'alimentation, mais il dépérissait à vue d'œil, et il mourut quelques jours après la cinquième expérience, sans avoir voulu toucher à la nourriture qu'on avait mise à sa disposition. On nous a assuré que cet accident arrivait souvent aux jeunes canards que l'on sépare de leur couvée, et que l'on met dans l'isolement sans rien changer, d'ailleurs, à leur système alimentaire. Quoi qu'il en soit, les expériences que nous allons citer ne se rapportent pas à un canard dans l'état normal; l'animal était évidemment souffrant, et il est devenu de plus en plus malade à mesure qu'on le soumettait à de nouvelles expériences.

60e *Expérience.*

Canard, gavé avec du pain, de l'avoine et de l'eau.

Poids à son entrée dans la cloche....	1458gr
Poids à sa sortie de la cloche..... ..	1307
Perte.....	151

Digitized by Google

Durée de l'expérience, vingt-cinq heures.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,74
Oxygène.....	20,14
Azote	79,12
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	64,196
Poids de l'acide carbonique produit.....	78,786
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	57,299
Poids de l'azote exhalé....	0,000

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,892

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,000

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 2gr,568

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1,850

61e *Expérience.*

Le même canard a été gavé avec de la fécule et de l'eau. On l'a introduit dans la cloche trente-six heures après l'expérience précédente, et après lui avoir fait avaler une nouvelle quantité de fécule. Durée de l'expérience, 23h 45m. Les excréments très-abondants qu'il a rendus renfermaient une grande quantité de fécule non altérée.

Poids de l'animal avant l'expérience..	1448gr
Poids de l'animal après l'expérience..	1280
Perte.....	168

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique....	0,65
Oxygène....	21,72
Azote.....	77,63
	100,00

Digitized by Google

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	47,772
Poids de l'acide carbonique produit.....	50,342
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	36,612
Poids de l'azote absorbé.....	0,674

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,776

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0141

Poids de l'oxygène consommé par heure... 2gr,011

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,474

62e *Expérience.*

Le même canard, à l'inanition; au sortir de l'expérience 61, le canard reste trente heures sans recevoir de nourriture, et, comme il n'avait pas mangé pendant cette dernière expérience, il n'avait pas reçu de nourriture depuis cinquante-quatre heures. L'expérience a duré 38h 15m.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche...	1265gr
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	1175
Perte.....	90

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,60
Oxygène.....	21,76
Azote.....	77,64
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	64,487
Poids de l'acide carbonique produit.....	61,478
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	44,711
Poids de l'azote absorbé.....	0,711

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,693

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0110

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 1gr,686
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,382

63e *Expérience.*

Le même canard est gavé pendant deux jours avec de la viande, on le remet ensuite dans l'appareil après lui en avoir donné une forte ration L'expérience dure vingt-cinq heures.

Poids de l'animal avant l'expérience .	1426gr
Poids de l'animal après l'expérience..	1356
Perte.....	70

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,47
Hydrogène.....	0,82
Oxygène.....	19,49
Azote.....	78,22
	100,00

Poids de l'oxygène consommé.....	65gr,439
Poids de l'acide carbonique produit.....	66,374
Poids de l'oxyg. contenu dans l'acide carbonique...	48,272
Poids de l'azote absorbé.....	0,425
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,738
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0065
Poids de l'oxygène consommé par heure ...	2gr,617
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,882

64e *Expérience.*

Le même canard a été gavé pendant deux jours avec de la graisse de mouton; on lui en fait avaler une nouvelle portion avant de l'introduire dans la cloche. L'animal paraît très-souffrant. Au sortir de la cloche, on le remet à son régime ordinaire, mais il refuse de manger et il meurt quelques jours après. Il pesait, avant l'expérience, 1133 grammes. L'expérience dure 36h 45m.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,72
Oxygène.....	21,80
Azote.....	77,48
	100,00

Poids de l'oxygène consommé.....	63gr,438
Poids de l'acide carbonique produit.....	54,392
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	39,558
Poids de l'azote absorbé.....	0,788
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,623
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et le poids de l'oxygène consommé.....	0,0124
Poids de l'oxygène consommé par heure....	1gr,726
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	1gr,527

L'expérience 60 a été faite sur le canard gavé avec du pain, de l'avoine et de l'eau; il n'y a eu ni azote exhalé, ni azote absorbé. Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé a été de 0,892, c'est-à-dire analogue à celui que nous avons trouvé dans quelques expériences sur des poules soumises à la même alimentation. Le poids de l'oxygène consommé par heure a été de 2gr,568, par conséquent notablement plus grand que celui qui était employé par les poules d'un poids à peu près égal.

Dans l'expérience 61, le canard était gavé avec de la fécule de pomme de terre; il y eut une absorption d'azote notable, car le poids de l'azote absorbé est les 0,0141 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et le poids de l'oxygène consommé n'est plus que de 0,776, c'est-à-dire notablement plus faible que dans l'expérience 60; enfin le poids de l'oxygène consommé moyennement par heure

Digitized by Google

est plus faible, aussi, que dans l'expérience 60, car il n'est plus que de $2^{gr},011$.

Dans l'expérience 62, le canard était à l'inanition; on ne lui avait pas donné de nourriture depuis cinquante-quatre heures. Il y eut encore de l'azote absorbé, dont le poids formait les 0,0110 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et le poids de l'oxygène consommé est beaucoup plus faible que dans l'expérience 61, car il n'est plus que de 0,693; la valeur de ce rapport s'approche de celle que nous avons trouvée pour les poules soumises à l'inanition. La consommation d'oxygène par heure n'a été que de $1^{gr},686$.

Depuis l'expérience 62, le canard a été gavé pendant deux jours avec de la viande; on l'a introduit dans l'appareil pour l'expérience 63, après lui avoir donné une forte ration de viande. Il y a encore eu une absorption notable d'azote qui s'est élevée à 0,0065 du poids de l'oxygène consommé. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et le poids de l'oxygène consommé s'est élevé à 0,738; il est un peu plus fort que celui qui a été trouvé dans l'expérience 62 sur le canard à l'inanition; mais la différence est assez faible pour que nous puissions admettre la même conclusion que pour les poules, savoir, que ce rapport est sensiblement le même pour les animaux soumis au régime de la viande que pour les animaux à l'inanition.

Le poids de l'oxygène consommé par heure a été beaucoup plus grand que dans les expériences 61 et 62, et il est à peu près le même que dans l'expérience 60 où l'animal était au régime du grain.

Après l'expérience 63, le canard fut gavé pendant deux jours exclusivement avec de la graisse de mouton et de l'eau, et on l'introduisit dans l'appareil après lui en avoir fait prendre une nouvelle portion. L'animal parut très-souffrant de ce régime; ses plumes se hérissèrent et il resta couché

Digitized by Google

pendant toute l'expérience. Il y eut encore absorption d'azote, et le poids du gaz absorbé fut les 0,0124 du poids de l'oxygène consommé.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé n'est que de 0,623, c'est-à-dire plus faible que dans l'expérience 62 où l'animal était à l'inanition. La consommation de l'oxygène par heure a été, à peu près, la même que dans cette dernière expérience.

III. — Expériences sur de petits oiseaux.

Les expériences qui suivent ont été faites dans le petit appareil, *Pl. IV, fig.* 2, décrit page 323. L'oxygène destiné à maintenir constante la composition de l'air dans l'espace où séjournaient les animaux, était renfermé dans une pipette dont il était chassé par une dissolution concentrée de chlorure de calcium.

65e *Expérience.*

Un verdier pesant 25 grammes (30 octobre). Durée de l'expérience, $6^h\,20^m$. $T = 17^\circ$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	2,13
Oxygène.....	7,39
Azote.....	90,48
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $1^{mm},1$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	2,051
Poids de l'acide carbonique produit	2,140
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	1,556
Poids de l'azote exhalé...	0,082

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,760

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé... 0,040

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},325$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $13^{gr},000$

66e *Expérience.*

Le même verdier que dans l'expérience 65, pesant 25 grammes (4 novembre). Durée de l'expérience, $7^h\ 55^m$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,61
Oxygène.....	19,50
Azote.....	79,89
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	1,926
Poids de l'acide carbonique produit.....	1,829
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	1,330
Poids de l'azote exhalé.....	0,006

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,690
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0032

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},244$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $9^{gr},742$

67e *Expérience.*

Un bec-croisé pesant $28^{gr},6$ (1er novembre). Durée de l'expérience, $6^h\ 10^m$. $T = 17°$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,77
Oxygène.....	20,21
Azote.....	79,02
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale . 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé	1,937
Poids de l'acide carbonique produit.....	2,122
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	1,543
Poids de l'azote exhalé.....	0,000

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,796

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,000

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},314$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... .... $10^{gr},974$

68e *Expérience.*

Un moineau pesant 22 grammes. Durée de l'expérience, $9^h 6^m$. T = 18°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,59
Oxygène...	19,27
Azote.....	80,14
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	1,919
Poids de l'acide carbonique produit.....	2,098
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	1,526
Poids de l'azote exhalé.....	0,018

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,795

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0093

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},211$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $9^{gr},595$

69e *Expérience.*

Un jeune verdier pesant $17^{gr},5$ (19 novembre). Durée de l'expérience, huit heures. T = 16°,2.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,00
Oxygène.....	18,90
Azote.....	80,10
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	1,968
Poids de l'acide carbonique produit.....	1,961
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	1,426
Poids de l'azote exhalé.....	0,008

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,724

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé 0,0040

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 0gr,246

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 14gr,057

Ces expériences sur les petits oiseaux ont été faites dans l'arrière-saison, pendant le mois de novembre; néanmoins on a observé, dans toutes, un dégagement d'azote. Dans la 65e expérience, ce dégagement a été plus considérable que nous ne l'avions encore trouvé jusqu'ici, car le gaz azote exhalé forme les 0,04 de l'oxygène consommé.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène consommé a été :

65	Pour le verdier.....	0,760
66.	Pour le même verdier...	0,690
67.	Pour le bec-croisé.....	0,796
68.	Pour le moineau.....	0,795
69.	Pour le jeune verdier ...	0,724

Il a varié de 0,7 à 0,8 environ. La détermination précise de ce rapport pour les petits oiseaux dans leur état normal

Digitized by Google

présente de grandes difficultés; les oiseaux sur lesquels nous avons opéré étaient farouches, et ne se nourrissaient plus comme lorsqu'ils sont en liberté.

Nous avions principalement entrepris ces expériences pour comparer les quantités d'oxygène consommées, à poids égaux, par ces petits oiseaux, et par des oiseaux plus gros, tels que les poules. Or, nous observons ici un fait très-remarquable : tandis que les poules consommaient par heure, pour un poids de 1 kilogramme, de 1 gramme à $1^{gr},6$ d'oxygène; les petits oiseaux, rapportés au même poids, ont consommé :

65.	Le verdier.....	$13^{gr},00$
66.	Le même verdier.....	9,74
67.	Le bec-croisé.....	10,97
68.	Le moineau.....	9,59
69.	Le jeune verdier.....	14,06

C'est-à-dire, *des poids près de dix fois plus considérables*. On conçoit qu'il doit en être ainsi, pour que ces petits animaux puissent conserver une température égale à celle des oiseaux plus gros; les causes refroidissantes agissant sur eux beaucoup plus efficacement, à cause de la petitesse de leur masse.

EXPÉRIENCES SUR LES REPTILES.

I. — Expériences sur les grenouilles et les salamandres terrestres.

Nous avons fait un assez grand nombre d'expériences sur la respiration des grenouilles dans le petit appareil, *Pl. IV, fig.* 2, que nous avons décrit (page 323). Nous avons opéré, tantôt sur des grenouilles intactes, tantôt sur des grenouilles prises dans des circonstances identiques, mais auxquelles on avait enlevé les poumons, en évitant, autant que possible, l'hémorragie qui aurait pu compli-

Digitized by Google

quer le résultat de nos expériences. M. Bernard, dont l'habileté est bien connue de tous les physiologistes, pratiquait cette opération sur les grenouilles, une demi-heure environ avant de les introduire dans notre appareil.

70e *Expérience.*

Cinq grenouilles pesant 287 grammes. Durée de l'expérience, 30h 10m. T = 15°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,18
Oxygène.....	20,81
Azote.....	79,01
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale.

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,547
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,548
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,398
Poids de l'azote absorbé.....	0,0005

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé 0,729

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé 0,0009

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 0gr,0181

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... .. 0gr,063

71e *Expérience.*

Cinq grenouilles pesant 230 grammes. Durée de l'expérience, 8h 45m. T = 16°,6.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,22
Oxygène.....	21,50
Azote...	78,28
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,179
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,172
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,1250
Poids de l'azote absorbé.....	0,0035

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,698

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0020

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},0205$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal... ..... $0^{gr},089$

72e *Expérience.*

Quatre grenouilles pesant 243 grammes. Durée de l'expérience, $7^h\ 35^m$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,23
Oxygène	19,89
Azote.....	79,88
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé..... ...	0,187
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,203
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,1476
Poids de l'azote exhalé.....	0,000

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,786

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0000

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},025$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},103$

73e *Expérience.*

Deux grenouilles pesant $127^{gr},5$. Durée de l'expérience, $13^h 40^m$. $T = 19^c$.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,32
Oxygène.....	19,80
Azote.....	79,88
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,184
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,190
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,138
Poids de l'azote exhalé.....	0,002

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,750

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0108

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},0134$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},105$

74e *Expérience.*

Deux grenouilles pesant 185 grammes, auxquelles on a coupé les poumons. Durée de l'expérience, vingt heures. T = 17°. Les grenouilles sont sorties de l'appareil, parfaitement vivantes.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,30
Oxygène.....	19,65
Azote.....	80,05
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $-3^{mm},2$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,174
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,183
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,133
Poids de l'azote exhalé.....	0,0024

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,765

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,013

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 0^{gr},0087

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0^{gr},047

75e *Expérience.*

Deux grenouilles pesant 140 grammes. Durée de l'expérience, vingt heures. T = 17°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,26
Oxygène.....	19,82
Azote.....	79,92
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. 0,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,1763
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,1720
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,1251
Poids de l'azote exhalé.....	0,0009

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,709

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0051

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 0^{gr},0088

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0^{gr},063

76e *Expérience.*

Deux grenouilles pesant 115 grammes, auxquelles on a coupé les poumons. Durée de l'expérience, $22^{h}40^{m}$. T = 21°.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,23
Oxygène.....	19,70
Azote.....	80,07
	100,00

Digitized by Google.

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $1^{mm},5$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,171
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,187
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,136
Poids de l'azote exhalé.....	0,0018

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,795

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0105

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},0075$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},066$

77e *Expérience.*

Neuf salamandres pesant 189 grammes (13 octobre). Durée de l'expérience, $23^h\ 10^m$. $T = 18^o,4$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,27
Oxygène.....	20,50
Azote.....	79,23
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $1^{mm},4$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,361
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,408
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,297
Poids de l'azote exhalé.....	0,000

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,824

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0000

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $0^{gr},016$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},085$

Digitized by Google

Dans ces expériences sur les grenouilles, nous remarquons, tantôt un faible dégagement, tantôt une petite absorption d'azote ; mais il est difficile d'en répondre, parce qu'on opère ici sur des quantités très-petites de gaz, et qu'on ne peut plus atteindre la même précision que lorsqu'on opère sur des animaux dont la respiration est plus énergique.

Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène consommé a été :

		gr
70.	Grenouilles entières.....	0,729
71.	*Idem*.....	0,698
72.	*Idem*.....	0,786
73.	*Idem*.....	0,750
74.	Grenouilles sans poumons...	0,765
75.	Grenouilles intactes.....	0,709
76.	Grenouilles sans poumons...	0,795

Il a donc varié de 0,7 à 0,8, et il a été le même pour les grenouilles sans poumons que pour les grenouilles intactes.

Le poids de l'oxygène consommé, par heure, pour 1 kilogramme de l'animal, a été :

		gr
70.	Grenouilles intactes.....	0,063
71.	*Idem*.....	0,089
72.	*Idem*.....	0,103
73.	*Idem*.....	0,105
74.	Grenouilles sans poumons...	0,047
75.	Grenouilles intactes.....	0,063
76.	Grenouilles sans poumons...	0,066

La consommation d'oxygène a donc été très-variable, même pour les grenouilles intactes. Il est probable que la respiration de ces animaux est très-irrégulière, et qu'elle dépend beaucoup du temps qui s'est écoulé entre le moment où on les a pêchés et celui où on les soumet aux expériences, car ils ne prennent plus de nourriture lorsqu'ils sont captifs. Il est à présumer aussi que leur respiration n'est pas la même dans les diverses saisons.

Digitized by Google

La respiration des grenouilles privées de poumons a été, à peu près, aussi abondante que celle des grenouilles intactes, et les proportions des gaz inhalés et exhalés sont restées sensiblement les mêmes. Ce résultat fait supposer que la respiration des batraciens se fait principalement par la peau, opinion qui a déjà été émise par plusieurs physiologistes, d'après des expériences d'un autre genre.

La respiration des salamandres présente la plus grande analogie avec celle des grenouilles; la quantité d'oxygène consommée dans des temps égaux est, à peu près, la même quand on la rapporte à des poids égaux de ces animaux. Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et le poids de l'oxygène total consommé, a été trouvé un peu plus fort pour les salamandres que pour les grenouilles.

II. — Expériences sur des lézards.

Nous avons fait quelques expériences sur la respiration des lézards verts dans le petit appareil, *Pl. IV, fig.* 2. Les lézards nous furent donnés, au mois de mars, par M. Bodement, jeune naturaliste qui s'occupe depuis longtemps d'études sur le développement de ces animaux. Ils étaient encore engourdis au moment où ils nous furent remis, mais ils se réveillaient facilement quand on les mettait au soleil. La première expérience fut commencée le 21 mars sur les lézards complétement engourdis; ils ne se réveillèrent pas pendant toute la durée de leur séjour dans l'appareil. Dans la deuxième expérience, les animaux n'étaient pas complétement engourdis; ils ouvraient fréquemment les yeux, et s'agitaient quand on les prenait avec la main. Enfin, la troisième expérience a été faite, le 15 mai, sur les lézards éveillés depuis près d'un mois et nourris avec du lait; ils étaient très-vifs, surtout lorsqu'on les mettait au soleil.

Digitized by Google

78e *Expérience.*

Trois lézards endormis pesant ensemble 68gr,5. Durée de l'expérience, 138h 45m (21 mars 1848). T = 7°,3.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,00
Oxygène.....	11,75
Azote.....	88,25
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 1mm,15

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,2338
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,2358
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,1715
Poids de l'azote exhalé.....	0,0545
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,733
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,233
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	0gr,001685
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,0246

79e *Expérience.*

Deux lézards pesant ensemble 42 grammes. Durée de l'expérience, 71h 30m (31 mars). T = 14°,8.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,00
Oxygène.....	18,20
Azote.....	81,80
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 15mm,9

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,194
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,192
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique..	0,139
Poids de l'azote exhalé.....	0,0057

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,717

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0295

Poids de l'oxygène consommé par heure.... .. $0^{gr},00271$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},0646$

80e *Expérience.*

Trois lézards pesant 62 grammes. Durée de l'expérience, $29^h\ 40^m$ (15 mai). $T = 23^o,4$.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,16
Oxygène.....	19,00
Azote.....	80,84
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $8^{mm},76$

Poids de l'oxygène consommé..... $0^{gr},352$

Poids de l'acide carbonique produit..... 0,364

Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 0,264

Poids de l'azote exhalé..... 0,0046

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,752

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0130

Poids de l'oxygène consommé par heure... $0^{gr},0119$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},1916$

Dans l'expérience 78 faite sur les lézards complétement engourdis, on remarque un dégagement énorme d'azote, puisqu'il forme les 0,23 de l'oxygène consommé. Nous n'oserons pas affirmer que cela ne tient pas à une erreur de l'expérience; cette erreur a pu se présenter facilement

Digitized by Google

dans cette expérience qui a duré six jours entiers, pour une très-faible consommation d'oxygène. Malheureusement, nous n'avons pu la répéter, parce que la saison était trop avancée pour que nous ayons pu nous procurer des lézards endormis. Dans les expériences 79 et 80, le dégagement d'azote a été faible.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène total consommé a été :

		gr
78.	Sur les lézards engourdis.....	0,733
79.	Sur les lézards incomplétement éveillés..	0,717
80.	Sur les lézards entièrement éveillés.....	0,752

C'est-à-dire sensiblement le même. Mais la quantité d'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de ces animaux, a été environ huit fois plus faible chez les lézards engourdis que chez ces mêmes animaux complétement éveillés. On a trouvé, en effet, pour cette consommation d'oxygène :

		gr
78.	Sur les lézards engourdis	0,0246
79.	Sur les lézards incomplétement éveillés.	0,0646
80.	Sur les lézards parfaitement éveillés...	0,1916

A poids égaux, les lézards éveillés consomment deux à trois fois plus d'oxygène que les grenouilles.

EXPÉRIENCES SUR LA RESPIRATION DES INSECTES.

La respiration des insectes a été étudiée dans le petit appareil, *Pl. IV, fig.* 2. Nos expériences ont porté sur les hannetons, les vers à soie et leurs chrysalides, et sur les vers de terre.

Nous nous proposions d'étudier, d'une manière spéciale, la respiration des vers à soie, dans leurs diverses périodes de développement et leurs métamorphoses successives. M. Péligot, qui s'occupait d'études chimiques sur la nutrition et le développement de ces animaux, avait

Digitized by Google

mis à notre disposition une partie de l'éducation de vers qu'il avait entreprise. Malheureusement, au milieu de nos expériences (juillet 1848), une mortalité très-considérable survint, tout à coup, parmi ces insectes : la plupart de ceux que nous avions chez nous périrent, et il en fut de même de ceux que M. Péligot destinait à ses propres expériences. Nous fûmes obligés de laisser nos recherches incomplètes, et nous ne parvînmes même pas à faire sur les papillons de vers à soie l'expérience qui manquait pour compléter l'étude de la respiration de ces animaux dans leurs diverses métamorphoses.

La respiration des chrysalides étant d'une lenteur extrême, nous n'avons pas jugé à propos de leur fournir d'oxygène pour remplacer celui qui était absorbé ou transformé en acide carbonique; nous avons supprimé l'appareil à potasse destiné à absorber l'acide carbonique, et nous nous sommes bornés à analyser l'air au milieu duquel les chrysalides avaient séjourné pendant plusieurs heures.

I. — Expériences sur les hannetons.

81e *Expérience.*

Quarante hannetons pesant 40gr,3. Durée de l'expérience, 8h 5m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,33
Oxygène.....	20,59
Azote.....	79,08
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,351
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,382
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,278
Poids de l'azote absorbé.....	0,0023
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,791
Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0066

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $0^{gr},0434$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},076$

82e *Expérience.*

Trente-sept hannetons pesant 37 grammes. Durée de l'expérience, cinq heures.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,15
Oxygène.....	20,28
Azote.....	79,57
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,178
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,202
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,147
Poids de l'azote exhalé.....	0,0017
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,825
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0095

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $0^{gr},0356$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},962$

Dans ces deux expériences sur les hannetons, on remarque un faible dégagement d'azote. Le rapport entre la quantité d'oxygène contenue dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé a été :

	gr
81.....	0,791
82.....	0,825

et le poids d'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de ces insectes, s'est élevé :

	gr
81.....	1,076
82.....	0,962

Digitized by Google

La respiration des hannetons *consomme* donc, à peu près, *autant d'oxygène*, à poids égaux, que celle des lapins, des chiens et des poules.

II. — Expériences sur les vers à soie.

83e *Expérience.*

Dix-huit vers à soie prêts à filer, pesant 42gr,5. Durée de l'expérience, 5h 40m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	5,89
Oxygène.....	16,10
Azote.....	78,01
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,202
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,220
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,160
Poids de l'azote absorbé.....	0,00201

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,792

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,010

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 0gr,0357

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,840

84e *Expérience.*

Dix-huit vers à soie prêts à filer, pesant 39 grammes. Durée de l'expérience, 7h 50m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	4,10
Oxygène.....	16,51
Azote.....	79,39
	100,00

Digitized by Google

	gr
Poids de l'oxygène consommé	0,201
Poids de l'acide carbonique produit	0,225
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,163
Poids de l'azote exhalé	0,00028

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,814

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0014

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 0gr,0268

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 0gr,687

85e *Expérience.*

Quarante-deux vers à soie (au troisième âge) pesant 40 grammes. Durée de l'expérience, 4h 20m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	7,95
Oxygène.....	14,42
Azote.....	77,63
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé	0,203
Poids de l'acide carbonique produit	0,207
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,150
Poids de l'azote absorbé	0,0027

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,739

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0133

Poids de l'oxygène consommé par heure..... 0gr,0468

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,170

86e *Expérience.*

Quarante et un vers à soie pesant 40 grammes. Durée de l'expérience, 5h 20m. A la fin de l'expérience, on a trouvé vingt

Digitized by Google

vers à soie morts. Cette expérience a été faite le 17 juillet 1847. Une mortalité semblable eut lieu le même jour parmi les vers à soie qui n'étaient pas renfermés dans l'appareil.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	6,31
Oxygène.....	15,62
Azote.....	78,07
	100,00

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,197
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,209
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,152
Poids de l'azote absorbé.....	0,00238

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,772

Rapport entre le poids de l'azote absorbé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0121

87e *Expérience.*

Vingt-cinq chrysalides de vers à soie pesant 21 grammes. Durée de l'expérience, 6h 30m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	13,58
Oxygène.....	1,16
Azote.....	85,26
	100,00

Dépression à la fin de l'expérience..... 48mm,0

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,033
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,029
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,021
Poids de l'azote dégagé.....	0,00025

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,639

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0075

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure.....	0gr,00508
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,242

Nous remarquons dans ces expériences, tantôt un faible dégagement d'azote, tantôt une petite absorption; mais elles tombent dans les limites des erreurs d'observation.

Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et l'oxygène consommé a été :

83.	Vers à soie au terme de leur croissance. .	0,792
84.	*Idem*.....	0,814
85.	Vers à soie, troisième âge..	0,739
86.	Vers à soie au terme de leur croissance....	0,772
87.	Chrysalides.....	0,639

Il est notablement plus faible chez les chrysalides que chez les vers.

Les poids d'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de ces animaux, ont été :

		gr
83.	Vers à soie au terme de leur croissance...	0,840
84.	*Idem*.....	0,687
85.	Vers à soie, troisième âge.....	1,170
86.	Vers à soie au terme de leur croissance...	»
87.	Chrysalides.....	0,1013

Cette consommation varie, probablement, beaucoup suivant les diverses époques de la vie de ces insectes, car on sait que leur nutrition est très-inégale. Dans tous les cas, elle est à peu près aussi grande pour les vers, à poids égaux, que celle des mammifères et des gros oiseaux. Pour les chrysalides, la consommation d'oxygène n'est que le $\frac{1}{10}$ environ de celle des vers.

Digitized by Google

III. — Expériences sur les vers de terre.

88e *Expérience.*

Vers de terre pesant 112 grammes. Durée de l'expérience, 3h 5m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,32
Hydrogène.....	0,20
Hydrog. protocarboné.	0,15
Oxygène	19,49
Azote...	79,84
	100,00

Poids de l'oxygène consommé.....	0gr,352
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,375
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,273
Poids de l'azote exhalé.....	0,0024
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.. ...	0,776
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0068
Poids de l'oxygène consommé par heure.....	0gr,01135
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,1013

La respiration des vers de terre est à peu près semblable à celle des grenouilles. La consommation d'oxygène et le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé, sont sensiblement les mêmes que pour ces derniers animaux.

RESPIRATION DES ANIMAUX DANS UNE ATMOSPHÈRE TRÈS-RICHE EN OXYGÈNE.

Nous avons donné dans nos recherches préliminaires (page 398) plusieurs expériences faites dans des atmosphères artificielles, beaucoup plus riches en oxygène que notre asmosphère terrestre. Les animaux n'ont paru

Digitized by Google

éprouver aucune influence fâcheuse de cette grande proportion de gaz oxygène; le dégagement d'azote a été le même, et la consommation d'oxygène n'a pas été modifiée d'une manière sensible. Nous avons voulu étudier, avec plus de soin, la respiration dans ces atmosphères anormales, surtout afin de reconnaître si elle était modifiée dans le rapport que présente l'oxygène de l'acide carbonique exhalé avec l'oxygène consommé. Les expériences ont été conduites de la manière ordinaire, après avoir composé l'atmosphère de la cloche comme nous l'avons dit (p. 398).

89e *Expérience.*

Lapin dans une atmosphère riche en gaz oxygène. L'animal soumis à l'expérience est le lapin D des expériences 22, 23 et 24; il était nourri depuis plusieurs jours avec du pain. On lui met dans la cloche 150 grammes de pain, qu'il mange presque entièrement. Durée de l'expérience, $23^h 40^m$. $T = 23°$.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche..	3860gr
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche.....	3890
Gain.....	30

Acide carbonique.....	2,77
Oxygène.....	72,38
Azote.....	24,85
	100,00

Cette composition fut admise comme étant celle de l'atmosphère au commencement de l'expérience; mais on a dû lui faire subir une petite correction provenant de ce que l'air enlevé pour l'analyse était nécessairement remplacé dans la cloche par de l'oxygène pur fourni par les pipettes N. L'expérience a été ensuite conduite comme à l'ordinaire; le gaz présentait, à la fin, la composition suivante :

Acide carbonique.....	2,01
Hydrogène.....	0,70
Oxygène.....	72,65
Azote.....	24,64
	100,00

Digitized by Google

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $+5^{mm},7$

Poids de l'oxygène consommé	$80^{gr},338$
Poids de l'acide carbonique produit	115,470
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	83,978
Poids de l'azote exhalé	0,123

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 1,045

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et le poids de l'oxygène consommé..... 0,0015

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $3^{gr},394$

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $0^{gr},876$

90e *Expérience.*

Chien dans une atmosphère très-riche en oxygène. Le même chien A que dans les expériences 27, 28 et 29. Il est nourri de viande crue. Durée de l'expérience, vingt et une heures. T = 20°.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche.. 6420^{gr}.

Composition du gaz initial.

Acide carbonique.....	2,00
Oxygène.....	46,63
Azote.....	51,37
	100,00

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	2,25
Oxygène.....	45,17
Azote.....	52,58
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $-0^{mm},5$

Poids de l'oxygène consommé	$168^{gr},350$
Poids de l'acide carbonique produit	178,425
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	129,763
Poids de l'azote exhalé	0,278

Digitized by Google

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,771

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0016

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 8gr,016

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,248

91e. *Expérience.*

Chien dans une atmosphère très-riche en oxygène. Le même chien A, nourri à la viande. Il pèse, avant l'expérience, 6 350 gr. L'expérience dure 22h 40m. T = 26°.

Composition du gaz au commencement de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,66
Oxygène.....	59,75
Azote.....	38,59
	100,00

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,89
Oxygène.....	57,62
Azote.....	40,49
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — 17mm,0

Poids de l'oxygène consommé..... 147gr,454

Poids de l'acide carbonique produit..... 152,359

Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique. 110,806

Poids de l'azote exhalé..... 0,436

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,751

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0029

Poids de l'oxygène consommé par heure.... 6gr,507

Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... 1gr,025

Digitized by Google

La respiration du lapin D, dans l'air normal, a déjà été déterminée dans les expériences 22, 23 et 24. Dans l'expérience 22, il était nourri de carottes; dans l'expérience 23, il était à l'inanition; enfin, dans l'expérience 24, il était nourri de pain. L'expérience 89 a été faite, dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène que l'atmosphère terrestre, sur le même lapin soumis au régime du pain et trente-six heures après l'expérience 24. Nous n'avons donc à comparer que les expériences 24 et 89, qui ont été faites dans des circonstances identiques de nutrition, mais dans des atmosphères de compositions très-différentes.

Dans les deux expériences, il y a eu une faible exhalation d'azote, dont le rapport avec le poids de l'oxygène consommé s'est élevé :

Dans l'expérience 24 à.....	0,0033
Dans l'expérience 89 à.....	0,0015

La consommation d'oxygène, par heure, a été

Dans l'expérience 24 de.....	3gr,390
Dans l'expérience 89 de.....	3,394

Elle a donc été *exactement la même*, et n'a été aucunement influencée par la différence de composition de l'atmosphère.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène consommé est :

Dans l'expérience 24.....	0,997
Dans l'expérience 89.....	1,045

Il a été trouvé un peu plus fort dans l'expérience 89, où l'animal se trouvait dans une atmosphère plus riche en oxygène; mais il est probable que cela ne tient pas à la composition de l'atmosphère, mais plutôt à cette circonstance, que l'animal était soumis depuis longtemps au régime féculent.

Les expériences 90 et 91 ont été faites sur le chien A

Digitized by Google

nourri de viande, par conséquent dans les conditions où il se trouvait dans les expériences 27, 28, 29 au milieu de l'air atmosphérique ordinaire. Dans toutes ces expériences, il y a eu exhalation d'azote; le rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé a été :

Dans l'atmosphère normale	27.....	0,0010
	28.....	0,0034
	29.....	0,0069
Dans l'atmosphère plus riche en oxygène.....	90.....	0,0016
	91.....	0,0029

Ainsi, sous ce rapport, on n'aperçoit aucune différence.

Le poids de l'oxygène consommé, par heure, a été :

		gr
Dans l'atmosphère ordinaire	27.....	7,440
	28.....	8,196
	29.....	6,893
Dans l'atmosphère plus riche en oxygène.....	90.....	8,016
	91.....	6,507

La consommation d'oxygène a donc varié, dans les deux cas, à peu près entre les mêmes limites.

Enfin, le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit et le poids de l'oxygène total consommé, a été :

Dans l'atmosphère ordinaire	27.....	0,742
	28.....	0,750
	29.....	0,747
Dans l'atmosphère plus riche en oxygène.....	90.....	0,771
	91.....	0,751

Il est donc encore resté à peu près le même.

Nous avons fait, en outre, une expérience sur le verdier des expériences 65 et 66 dans une atmosphère renfermant 96 d'oxygène et 4 d'azote. Cette expérience a duré cinq heures; l'oiseau n'en a pas été incommodé, et les diverses circonstances de la respiration ont été semblables à celles des expériences 65 et 66.

Digitized by Google

Nous pouvons donc conclure de ces expériences, que *la respiration des animaux n'est aucunement influencée par la proportion d'oxygène de l'atmosphère dans laquelle ils vivent, pourvu que cette proportion soit suffisante pour entretenir la vie. Dans une atmosphère renfermant deux et trois fois plus d'oxygène que notre atmosphère terrestre, les animaux n'éprouvent aucun malaise, et les produits de leur respiration sont absolument les mêmes que lorsqu'ils se trouvent dans l'atmosphère normale.*

EXPÉRIENCES SUR LA PERSPIRATION DES ANIMAUX

DANS UNE ATMOSPHÈRE OÙ L'HYDROGÈNE REMPLACE, EN GRANDE PARTIE, L'AZOTE DE NOTRE ATMOSPHÈRE TERRESTRE.

Pour composer cette atmosphère artificielle, on remplissait un gazomètre, de 120 litres environ de capacité, d'un mélange de 79,0 hydrogène et de 21,0 oxygène. L'animal étant placé dans la cloche, et le couvercle *ef*, *Pl. III*, *fig.* 2, étant ajusté sur l'ouverture inférieure *ab*, mais sans que les boulons fussent serrés, on faisait passer rapidement dans la cloche, par le tube *r'r*, le mélange d'hydrogène et d'oxygène; l'excès de gaz s'échappait par la fente laissée entre le couvercle *ef* et l'orifice *ab*. Lorsqu'il ne restait plus qu'une petite quantité du mélange gazeux dans le gazomètre, on serrait les boulons du couvercle et l'on introduisait dans la cloche le reste du gaz, de manière à y établir un excès de pression. On mettait alors les pipettes à potasse en mouvement, et au moment où le manomètre annonçait l'équilibre de pression avec l'atmosphère extérieure, on faisait une prise de gaz dans l'appareil manométrique *a'b'c'd'*, *Pl. III*, *fig.* 1. Ce gaz était analysé, et sa composition était regardée comme représentant celle de l'atmosphère de la cloche au commencement de l'expérience; on lui faisait toutefois subir une petite correction provenant de ce que le gaz enlevé pour l'analyse était nécessai-

Digitized by Google

rement remplacé par une quantité correspondante d'oxygène, lorsqu'on établissait la communication avec les pipettes qui contenaient ce gaz. On conduisait ensuite l'expérience comme à l'ordinaire.

92e *Expérience.*

Lapin D, des expériences 22, 23, 24 et 89; on a continué à le nourrir avec du pain. On lui donne dans la cloche 126 grammes de pain qu'il mange entièrement. L'expérience dure $20^h 40^m$. $T = 22°$.

Poids de l'animal à son entrée dans la cloche..	3927^{gr}
Poids de l'animal à sa sortie de la cloche....	3883
Perte.....	44

Composition du gaz au commencement de l'expérience.

Acide carbonique. ...	1,52
Hydrogène.....	55,16
Oxygène.....	28,87
Azote.....	14,45
	100,00

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	2,49
Hydrogène.....	53,29
Oxygène.....	27,51
Azote.....	16,71
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. $+ 3^{mm},9$

Poids de l'oxygène consommé.....	$83^{gr},112$
Poids de l'acide carbonique produit.....	115,682
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	84,132
Poids de l'azote exhalé.....	1,073
Poids de l'hydrogène disparu.....	0,0518

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 1,012

Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0129

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure..... $4^{gr},023$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},032$

93e *Expérience.*

Chien F des expériences 34, 36, 37 et 38, nourri à la viande pendant quinze jours après l'expérience 38. L'animal était bien portant et ne se ressentait plus, depuis longtemps, des changements de régime qu'il avait subis. Durée de l'expérience, $10^h 45^m$. T = 22°.

Poids du chien à son entrée dans la cloche...	5845^{gr}
Poids du chien à sa sortie de la cloche.....	5724
Perte.....	121

Composition du gaz au commencement de l'expérience.

Acide carbonique.....	1,48
Hydrogène.....	57,05
Oxygène.....	28,59
Azote.....	12,88
	100,00

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique	2,68
Hydrogène	56,35
Oxygène.....	27,61
Azote	13,36
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $0^{mm},7$

Poids de l'oxygène consommé.....	$82^{gr},087$
Poids de l'acide carbonique produit.....	86,994
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	63,268
Poids de l'azote exhalé.....	0,202
Poids de l'hydrogène disparu.....	0,0235
Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé.....	0,771
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé.....	0,0024

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure.... $7^{gr},636$
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal..... $1^{gr},320$

94e *Expérience.*

Cinq grenouilles pesant 280 grammes, dans un mélange d'hydrogène et d'oxygène (novembre 1847). Cette expérience a été faite dans le petit appareil, en composant l'atmosphère comme nous l'avons dit (page 496). Les grenouilles sont sorties de l'appareil parfaitement vivantes, et elles ont vécu longtemps après. Durée de l'expérience, $5^h\ 13^m$. $T = 17°$.

Composition du gaz au commencement de l'expérience.

Acide carbonique.....	traces
Oxygène.....	21,86
Hydrogène.....	77,03
Azote.....	1,11
	100,00

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,37
Oxygène.....	21,57
Hydrogène.....	75,82
Azote.....	2,24
	100,00

Excès de la pression finale sur la pression initiale. — $0^{mm},4$

	gr
Poids de l'oxygène consommé.....	0,1830
Poids de l'acide carbonique produit.....	0,2157
Poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.	0,1568
Poids de l'azote exhalé.....	0,0035

Rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et le poids de l'oxygène consommé..... 0,8568
Rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé..... 0,0200

Digitized by Google

Poids de l'oxygène consommé par heure.....	0gr,0352
Poids de l'oxygène consommé, en une heure, par 1 kilogramme de l'animal.....	0gr,126

Le lapin D, à l'alimentation du pain, a été soumis successivement à l'expérience 24 dans l'air normal, à l'expérience 89 dans une atmosphère beaucoup plus riche en oxygène, enfin à l'expérience 92 dans une atmosphère un peu plus riche en oxygène que l'atmosphère terrestre, et dans laquelle l'hydrogène remplaçait l'azote en grande partie. Le rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé a été :

Dans l'air normal.....	24...	0,0033
Dans l'atmosphère riche en oxygène.....	89...	0,0015
Dans l'atmosphère où l'hydrogène remplaçait l'azote.....	92...	0,0129

Le dégagement d'azote a donc été beaucoup plus considérable dans ce dernier cas; mais il est très-possible, et même probable, que la plus grande partie de l'azote exhalé provenait de l'air atmosphérique, plus ou moins altéré, qui se trouvait dans les diverses cavités de l'animal, et qui a été remplacé, successivement, par le gaz composant la nouvelle atmosphère.

Le poids de l'oxygène consommé par heure a été :

		gr.
Dans l'air normal.....	24...	3,903
Dans l'atmosphère riche en oxygène.....	89...	3,394
Dans l'atmosphère où l'hydrogène remplace l'azote.....	92...	4,023

La consommation d'oxygène a été *notablement plus grande* dans ce dernier cas, ce que nous croyons pouvoir attribuer au plus grand pouvoir refroidissant du gaz hydrogène; l'animal, pour conserver se température normale,

Digitized by Google

est obligé de respirer plus activement que dans l'atmosphère ordinaire.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène total consommé a été :

Dans l'air normal..	24...	0,997
Dans l'atmosphère riche en oxygène.....	89...	1,045
Dans l'atmosphère où l'hydrogène remplace l'azote.	92...	1,012

Ce rapport a donc très-peu varié dans les trois expériences.

L'expérience 93 a été faite sur le chien F, qui avait été nourri de viande pendant quinze jours après l'expérience 38. Nous pouvons comparer entre elles les expériences 34 et 93, où l'animal était soumis à la même alimentation. Le rapport entre le poids de l'azote exhalé et celui de l'oxygène consommé a été :

Dans l'air normal.....	34...	0,00066
Dans l'atmosphère où l'hydrogène remplace l'azote.....	93 ..	0,00129

La consommation d'oxygène, par heure, a été :

Dans l'air normal.....	34...	6gr,673
Dans l'atmosphère où l'hydrog. remplace l'azote.	93...	7,636

La consommation d'oxygène a donc été notablement plus forte dans l'atmosphère riche en hydrogène. On peut en donner l'explication que nous avons énoncée plus haut : cependant, pour que le fait soit bien constaté, il serait nécessaire de multiplier les expériences, car nous avons vu (page 426) que cette consommation variait notablement pour le même individu, soumis à la même alimentation, par des circonstances qu'il est impossible de prévoir ou de diriger.

Le rapport entre le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et celui de l'oxygène total consommé

Digitized by Google

a été :

Dans l'air normal.....	34...	0,752
Dans l'atmosphère où l'hydrog. remplace l'azote.	93...	0,771

Ce rapport est donc resté sensiblement le même.

Nous pouvons comparer les expériences 70, 71 et 72, faites sur des grenouilles dans l'air normal, avec l'expérience 94 faite, à la même époque, sur des grenouilles prises dans les mêmes conditions, mais dans une atmosphère où l'hydrogène remplace l'azote.

Nous ne nous occuperons pas de l'azote; nous avons trouvé, tantôt une exhalation, tantôt une absorption d'azote; mais celles-ci sont toujours très-petites, et à peu près de l'ordre des erreurs que l'on peut commettre dans ces expériences où l'on opère sur de petites quantités de gaz.

La consommation d'oxygène faite par heure, par 1 kilogramme de grenouilles, a été :

		gr
Dans l'air ordinaire.....	70...	0,063
	71...	0,089
	72...	0,103
Dans l'atmosphère où l'hydrog. remplace l'azote.	94...	0,126

La consommation d'oxygène a donc encore été notablement plus forte dans l'atmosphère où l'hydrogène remplaçait l'azote. Il est important de remarquer que cette consommation a beaucoup varié dans les trois expériences faites dans l'air atmosphérique ordinaire.

Nous pouvons déduire des expériences qui précèdent, la conclusion suivante: *La respiration des animaux, au milieu d'une atmosphère où l'hydrogène remplace l'azote, se fait exactement de la même manière que dans l'air atmosphérique normal. La consommation d'oxygène paraît seulement plus grande; ce qui tient, probablement, à ce que l'animal est obligé de respirer plus abondamment pour réparer une plus grande perte de chaleur qu'il fait*

Digitized by Google

au contact de l'hydrogène, dont le pouvoir refroidissant est beaucoup plus considérable que celui de l'azote. On retrouve, à la fin de l'expérience, la presque totalité du gaz hydrogène qu'on avait introduit dans la cloche; la petite quantité de ce gaz qui disparaît, a probablement pénétré dans le corps de l'animal, et a remplacé de l'azote qui s'y trouvait : cette circonstance augmente l'exhalation apparente de l'azote, et se manifeste par une diminution correspondante dans l'hydrogène. Il est très-peu probable, d'après cela, que l'hydrogène et l'oxygène soient susceptibles de se combiner directement pour former de l'eau, lorsque le mélange de ces gaz arrive au contact des poumons; opinion qui a été émise par plusieurs physiologistes.

Recherches entreprises dans le but de reconnaître les quantités de gaz sulfurés et d'ammoniaque, qui se dégagent pendant la perspiration des animaux.

S'il se dégage des gaz sulfurés, ou de l'ammoniaque, pendant la perspiration des animaux, ces gaz se dissolvent dans la liqueur alcaline des pipettes C, C′, ou dans l'eau qui mouille les parois intérieures de la cloche ; nous avons jugé utile de rechercher si la proportion de ces gaz était assez considérable pour qu'il fût nécessaire d'en tenir compte dans le phénomène.

Pour déterminer les gaz sulfurés, nous avons cherché les quantités de soufre contenues dans des poids égaux de potasse primitive et de potasse qui avait servi à absorber l'acide carbonique dans une expérience. A cet effet, nous ajoutions, aux deux dissolutions, de l'eau et de petites quantités de chlorate de potasse; puis, la liqueur étant portée à l'ébullition, nous y versions de l'acide chlorhydrique pour sursaturer la liqueur alcaline : le chlore qui se dégageait faisait passer le soufre à l'état d'acide sulfurique, que l'on précipitait ensuite par le chlorure de baryum.

Digitized by Google

928gr,20 de la dissolut. de potasse primitive de l'expér. 22 sur un lapin ont donné...	0gr,064 de sulf. de baryte.	
928gr,80 de la même dissolution après l'expér. ont donné.....	0gr,066	*id.*
Différence.	0gr,002	
938gr,12 de la potasse primitive de l'expér. 30 sur un chien ont donné..	0gr,072 de sulf. de baryte.	
938gr,75 de la même dissolution après l'expérience ont donné.....	0gr,075	*id.*
Différence.....	0gr,003	
978gr,32 de la potasse primitive de l'expér. 49 sur une poule ont donné..... ...	0gr,052 de sulf. de baryte.	
978gr,42 de la même dissolution après l'expérience ont donné.....	0gr,054	*id.*
Différence.....	0gr,002	

La potasse, après avoir servi dans une expérience sur la respiration, ne renferme donc pas sensiblement plus de soufre qu'avant; les différences que nous venons de trouver sont trop petites pour qu'on puisse en répondre. On peut en conclure que, *pendant la perspiration des animaux, la proportion des gaz sulfurés dégagés est extrêmement petite.*

La recherche du gaz ammoniac a été faite dans des expériences spéciales. L'animal était placé dans une boîte portant deux ouvertures opposées. Par l'une de ces ouvertures pénétrait l'air destiné à entretenir la respiration; par l'autre, sortait l'air vicié. Le courant d'air était déterminé au moyen de deux aspirateurs que l'on faisait agir l'un après l'autre. L'air vicié, au sortir de la boîte, traversait une dissolution d'acide chlorhydrique à laquelle on avait ajouté 1 ou 2 décigrammes de bichlorure de platine. Afin que cette dissolution exerçât, plus efficacement, son action dissolvante sur l'ammoniaque contenue dans l'air, on faisait sortir le gaz, sous forme de petites bulles, à travers un grand nombre de tubes étroits plongeant dans la liqueur. On faisait passer, chaque fois, environ 500 grammes d'air, et l'on entretenait

Digitized by Google

ainsi la respiration de l'animal pendant huit heures environ. On évaporait alors au bain-marie la liqueur acide, et l'on reprenait le résidu par un mélange d'alcool et d'éther; le précipité était considéré comme du chlorure double de platine et d'ammoniaque, mais il était facile de reconnaître que la plus grande partie était formée de protochlorure de platine provenant de la réduction d'une petite quantité de bichlorure.

Dans une expérience faite sur un chien, on obtint un précipité correspondant à...	$0^{gr},0052$	d'ammon.
Une expérience sur un lapin donna un précipité correspondant à	$0^{gr},0034$	»
Enfin, une expérience sur une poule donna un précipité correspondant à.	$0^{gr},0025$	»

Ces quantités sont extrêmement petites, et même complétement incertaines; car, ayant fait, quelques jours après, une expérience *à blanc*, sans placer d'animal dans la boîte, nous obtînmes une quantité de précipité correspondante à $0^{gr},0060$ d'ammoniaque; c'est-à-dire plus grande encore que celle qui avait été trouvée dans les expériences sur les animaux.

On peut donc conclure que, *dans la perspiration des animaux, il ne se forme que des quantités extrêmement petites d'ammoniaque.*

Expériences entreprises dans le but de reconnaître l'influence que le corps de l'animal exerce sur le phénomène de la respiration.

Dans les expériences qui précèdent, nous avons étudié la respiration telle qu'elle se produit par le corps entier de l'animal; nous avons déterminé les effets réunis de la respiration pulmonaire et de la perspiration cutanée. Il était important de déterminer la part qui revient, dans le phénomène total, à cette dernière action, qui est regardée,

Digitized by Google

par la plupart des physiologistes, comme produisant des effets notables.

Pour y parvenir, nous avons fait deux séries d'expériences : dans la première, nous avons déterminé la quantité d'acide carbonique qui se produisait, dans un temps donné, au contact du corps d'un animal enfermé dans un sac imperméable, et dont la tête seule était maintenue au milieu de l'air libre. Nous nous sommes servis d'un sac de toile enduit de caoutchouc et parfaitement imperméable. Sur un des côtés de ce sac se trouvait une ouverture à coulisse, par laquelle on passait la tête de l'animal et qu'on serrait ensuite autour de son cou, après y avoir appliqué du caoutchouc fondu. Du côté opposé, le sac était ouvert afin de pouvoir y introduire facilement l'animal, et on attachait ensuite cette ouverture sur un couvercle en fer-blanc portant une petite tubulure centrale. Enfin, du côté où se trouvait la tête de l'animal, le sac portait une seconde tubulure par laquelle on faisait arriver l'air extérieur. Le courant d'air était obtenu à l'aide d'un aspirateur de 60 litres de capacité, qui communiquait avec la tubulure centrale du couvercle. L'air, avant de pénétrer dans le sac, traversait un long tube en U rempli de pierre ponce alcaline, dans lequel il déposait son acide carbonique; au sortir du sac, il traversait

1°. Un tube rempli de ponce sulfurique, qui lui enlevait son humidité;

2°. Deux tubes en U remplis de ponce alcaline, qui condensaient l'acide carbonique formé;

3°. Un tube à ponce sulfurique, qui retenait la petite quantité d'eau abandonnée par la ponce alcaline des deux tubes précédents.

L'augmentation de poids que subissaient les trois derniers tubes donnait la quantité d'acide carbonique formée au contact du corps de l'animal, ou qui s'était dégagée par le canal intestinal.

Digitized by Google

95e *Expérience.*

Poule pesant 1 940 grammes. Durée de l'expérience, 8h 40m.

Poids de l'acide carbonique formé..... 0gr,336

Pendant le même temps, la poule aurait produit, par sa perspiration totale, 18gr,62 d'acide carbonique. Le poids du gaz carbonique exhalé par la peau et par le canal intestinal n'est donc que les 0,018 de la quantité produite par la perspiration totale.

96e *Expérience.*

La même poule. Durée de l'expérience, 7h 30m.

Poids de l'acide carbonique..... 0gr,076

La perspiration totale aurait donné, dans le même temps, 16gr,13 d'acide carbonique.

Rapport entre la quantité d'acide carbonique fournie par le corps et par le canal intestinal et la quantité fournie par la perspiration totale, 0,0047.

Ce rapport est beaucoup plus petit que dans l'expérience 95, ce qui rend probable que la plus grande partie de l'acide carbonique provient du canal intestinal.

97e *Expérience.*

La même poule. Durée de l'expérience, 8h 45m.

Poids de l'acide carbonique produit.....	gr 0,164
Dans le même temps, la perspiration totale eût donné.	18,70
Rapport entre ces deux quantités.	0,0087

98e *Expérience.*

Lapin pesant 2 425 grammes. Durée de l'expérience, 8h 15m.

Poids de l'acide carbonique produit.....	gr 0,358
Dans le même temps, la perspiration totale eût donné.	20,63
Rapport entre ces deux quantités.....	0,0173

Digitized by Google

99e *Expérience.*

Le même lapin. Durée de l'expérience, $7^h 45^m$.

Poids de l'acide carbonique produit.....	gr 0,197
Dans le même temps, la perspiration totale eût donné.	19,38
Rapport entre ces deux quantités.....	0,0102

100e *Expérience.*

Chien pesant 4 159 grammes. Durée de l'expérience, $7^h 50^m$.

Poids de l'acide carbonique produit.....	gr 0,136
Dans le même temps, la perspiration totale eût donné.	39,15
Rapport entre ces deux quantités.....	0,0035

101e *Expérience.*

Le même chien. Durée de l'expérience, $8^h 30^m$.

Poids de l'acide carbonique produit.....	gr 0,176
Dans le même temps, la perspiration totale eût donné.	42,50
Rapport entre ces deux quantités.....	0,0041

Ces expériences démontrent que, *pour les mammifères et les oiseaux, la quantité d'acide carbonique qui se forme au contact du corps et qui se dégage par le canal intestinal, est toujours très-petite, et qu'elle s'élève rarement à* $\frac{1}{50}$ *de celle qui est fournie par la respiration pulmonaire.*

Nous avons fait, ensuite, une seconde série d'expériences, dans lesquelles nous laissions le corps de l'animal séjourner dans le sac pendant huit heures, sans renouveler l'air; on faisait ensuite l'analyse de cet air qui avait séjourné au contact du corps de l'animal.

102e *Expérience.*

La même poule que dans les expériences 95, 96 et 97. Durée de l'expérience, huit heures.

Digitized by Google

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,27
Oxygène.....	20,76
Azote.....	78,97
	100,00

103e *Expérience.*

Le même lapin que dans les expériences 98 et 99. Durée de l'expérience, huit heures.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,36
Oxygène.....	20,55
Azote.....	79,09
	100,00

104e *Expérience.*

Le même chien que dans les expériences 100 et 101. Durée de l'expérience, 8h 10m.

Composition du gaz à la fin de l'expérience.

Acide carbonique.....	0,29
Oxygène.....	20,67
Azote.....	79,04
	100,00

L'air n'a donc subi dans ces expériences qu'une altération très-faible, et, cependant, il n'y en avait que 4 ou 5 litres autour du corps de l'animal; on n'y a trouvé que des traces indosables d'hydrogène. Si l'on suppose que l'acide carbonique s'est formé aux dépens de l'oxygène de l'air, et que l'azote est resté invariable, on reconnaît qu'il n'a pas disparu d'oxygène dans d'autres combinaisons que dans l'acide carbonique; car on retrouve, presque exactement, la composition de l'air atmosphérique, en ajoutant à l'oxygène libre celui qui se trouve dans l'acide carbonique.

Digitized by Google

Mais on peut supposer aussi qu'il y a eu, simplement, exhalation d'acide carbonique et d'azote, et que l'oxygène est resté invariable; l'air renfermerait encore, dans ce cas, à la fin de l'expérience, moins d'oxygène que l'air normal. Pour décider quel est celui de ces deux cas qui a lieu réellement, il aurait fallu faire les expériences dans un espace inextensible et maintenu à une température rigoureusement constante.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons conclure, avec certitude, des expériences qui précèdent, que *les effets produits par la perspiration cutanée et par les exhalaisons du canal intestinal sont tellement petits chez les animaux à sang chaud, que toutes les conséquences déduites de nos expériences sur la perspiration totale s'appliquent à la respiration pulmonaire.*

Il ne faudrait pas étendre cette conclusion aux animaux à sang froid; il est probable que, chez ces derniers, la peau intervient, pour une bien plus grande part, dans le phénomène total. Les expériences comparatives que nous avons citées (page 479) sur la respiration des grenouilles intactes et sur celle des grenouilles auxquelles on avait enlevé les poumons, semblent le démontrer d'une manière évidente.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Nous déduirons de notre travail les conclusions suivantes :

I. — Pour les animaux a sang chaud, mammifères et oiseaux.

1°. Lorsque ces animaux sont soumis à leur régime alimentaire habituel, ils dégagent toujours de l'azote; mais la quantité de ce gaz exhalé est très-petite: elle ne s'élève jamais à $\frac{2}{100}$ du poids de l'oxygène total consommé, et, le plus souvent, elle est moindre que $\frac{1}{100}$.

Digitized by Google

2°. Lorsque les animaux sont à l'inanition, ils absorbent souvent de l'azote, et la proportion de l'azote absorbé varie entre les mêmes limites que celle de l'azote exhalé dans le cas où les animaux sont soumis à leur régime habituel. L'absorption de l'azote s'est montrée, presque constamment, chez les oiseaux à l'inanition, mais très-rarement chez les mammifères.

3°. Lorsque, après avoir été pendant plusieurs jours à l'inanition, l'animal est soumis à un régime alimentaire très-différent de son régime habituel, il absorbe souvent encore de l'azote pendant quelque temps, probablement jusqu'à ce qu'il se soit fait à son nouveau régime; il rentre alors dans le cas général, et dégage de l'azote. Ce fait n'a été constaté que sur des poules qui, après avoir été plusieurs jours à l'inanition, échangeaient leur régime de grain pour un régime de viande seule.

4°. Lorsque l'animal est souffrant par suite du régime alimentaire auquel il est soumis, ou peut-être par d'autres causes, il absorbe encore de l'azote. Cette absorption d'azote a été constamment observée dans les expériences que nous avons faites sur un canard malade qui mourut peu de temps après.

Ces alternatives de dégagement et d'absorption d'azote que présente le même animal lorsqu'il est soumis à divers régimes est favorable à l'opinion d'Edwards, qui admet que le dégagement et l'absorption d'azote ont toujours lieu simultanément pendant la respiration, et que l'on n'observe jamais que la résultante de ces deux effets contraires.

5°. Le rapport entre la quantité d'oxygène contenu dans l'acide carbonique et la quantité totale d'oxygène consommé, paraît dépendre beaucoup plus de la nature des aliments que de la classe à laquelle appartient l'animal. Ce rapport est le plus grand lorsque les animaux se nourrissent de grains, et il dépasse alors souvent l'unité (expériences 50 et 92). Quand ils se nourrissent exclusivement

Digitized by Google

de viande, ce rapport est plus faible et varie de 0,62 à 0,80. Avec le régime des légumes, le rapport est en général intermédiaire entre celui que l'on observe avec le régime de la viande et celui que donne le régime du pain.

6°. Ce rapport est à peu près constant pour les animaux de même espèce qui sont soumis à une alimentation parfaitement uniforme, comme cela est facile à réaliser pour les chiens; mais il varie notablement pour les animaux d'une même espèce, et pour le même animal, soumis au même régime, mais dont on ne peut pas régler l'alimentation, comme pour les poules.

7°. Lorsque les animaux sont à l'inanition, le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé est, à peu près, le même que celui que l'on observe pour le même animal soumis au régime de la viande; il est cependant, en général, un peu plus faible. L'animal, à l'inanition, ne fournit à la respiration que sa propre substance, qui est de la même nature que la chair qu'il mange lorsqu'il est soumis au régime de la viande. Tous les animaux à sang chaud présentent donc, lorsqu'ils sont à l'inanition, la respiration des animaux carnivores.

8°. Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé varie, pour le même animal, depuis 0,62 jusqu'à 1,04, suivant le régime auquel il est soumis. Il est donc bien loin d'être constant, comme cela devrait être dans la théorie proposée par MM. Brunner et Valentin (page 306); et ce fait seul suffit pour démontrer l'inexactitude de cette théorie.

9°. Lavoisier avait cherché à prouver que la chaleur dégagée par un animal dans un temps donné, est précisément égale à celle que produirait, par une combustion vive dans l'oxygène, le carbone contenu dans l'acide carbonique produit, et l'hydrogène qui formerait de l'eau avec la portion de l'oxygène consommée ne se retrouvant pas dans

Digitized by Google

l'acide carbonique. Cette théorie de la chaleur animale fut généralement adoptée, et, aujourd'hui encore, elle est professée par un grand nombre de savants.

Nous ne doutons pas que la chaleur animale ne soit produite, *entièrement,* par les réactions chimiques qui se passent dans l'économie; mais nous pensons que le phénomène est beaucoup trop complexe pour qu'il soit possible de le calculer d'après la quantité d'oxygène consommée. Les substances qui se brûlent par la respiration sont formées en général de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène souvent en proportion considérable; lorsqu'elles se détruisent complétement par la respiration, l'oxygène qu'elles renferment contribue à la formation de l'eau et de l'acide carbonique, et la chaleur qui se dégage alors est nécessairement bien différente de celle que produiraient, en se brûlant, le carbone et l'hydrogène, supposés libres. Ces substances ne se détruisent d'ailleurs pas complétement, une portion se transforme en d'autres substances qui jouent des rôles spéciaux dans l'économie animale, ou qui s'échappent, dans les excrétions, à l'état de matières très-oxydées (urée, acide urique). Or, dans toutes ces transformations et dans les assimilations de substances qui ont lieu dans les organes, il y a dégagement ou absorption de chaleur; mais les phénomènes sont évidemment tellement complexes, qu'il est peu probable que l'on parvienne jamais à les soumettre au calcul.

C'est donc par une coïncidence fortuite que les quantités de chaleur dégagées par un animal se sont trouvées, dans les expériences de Lavoisier, de Dulong et de M. Despretz, à peu près égales à celles que donneraient, en brûlant, le carbone contenu dans l'acide carbonique produit, et l'hydrogène dont on détermine la quantité par une hypothèse *bien gratuite,* en admettant que la portion de l'oxygène consommée qui ne se retrouve pas dans l'acide carbonique a servi à transformer cet hydrogène en eau. On ne peut

Digitized by Google

pas s'appuyer sur les données numériques des expériences que nous venons de citer, car il n'est pas douteux que les quantités d'acide carbonique ont été trouvées beaucoup trop petites. Dans nos expériences, nous trouvons souvent, notamment pour les poules soumises à leur régime habituel du grain, plus d'oxygène dans l'acide carbonique dégagé que nous n'en avons fourni à la respiration. Ce fait seul démontre l'inexactitude de ces hypothèses, et nous dispense de les discuter plus longuement.

10°. Les quantités d'oxygène consommées par le même animal dans des temps égaux, varient beaucoup suivant les diverses périodes de la digestion, l'état de mouvement, et suivant une foule de circonstances qu'il est impossible de spécifier. Pour les animaux d'une même espèce, et à égalité de poids, la consommation d'oxygène est plus grande chez les jeunes individus que chez les adultes; elle est plus grande chez les animaux maigres, mais bien portants, que chez les animaux très-gras.

11°. La consommation d'oxygène faite, dans des temps égaux, par des poids égaux d'animaux appartenant à la même classe, varie beaucoup avec leur grosseur absolue. Ainsi, elle est dix fois plus grande chez les petits oiseaux, tels les moineaux et les verdiers, que chez les poules. Comme ces diverses espèces possèdent la même température, et que les plus petites, présentant comparativement une surface beaucoup plus grande à l'air ambiant, éprouvent un refroidissement plus considérable, il faut que les sources de chaleur agissent plus énergiquement, et que la respiration soit plus abondante.

12°. Les animaux à sang chaud ne dégagent, par la perspiration, que des quantités infiniment petites, et presque indéterminables, d'ammoniaque et de gaz sulfurés.

II. — Mammifères hibernants.

13°. La respiration des marmottes complétement éveillées et se nourrissant bien ne présente rien de particulier;

Digitized by Google

elle est semblable à celle des autres mammifères qui prennent une nourriture semblable ; mais celle des marmottes complétement assoupies est très-différente : souvent il y a absorption d'azote, et le rapport de la quantité d'oxygène contenu dans l'acide carbonique à celle de l'oxygène consommé est beaucoup plus faible, car il ne s'élève quelquefois qu'à 0,4. Le poids de l'oxygène qui entre dans des combinaisons non gazeuses étant plus grand que celui de l'acide carbonique dégagé ; d'un autre côté, l'animal perdant peu d'eau par la transpiration parce que sa température est très-peu supérieure à celle du milieu ambiant ; il en résulte que *la marmotte augmente sensiblement de poids par sa seule respiration*. Mais cette augmentation n'est pas indéfinie, parce que, de temps en temps, l'animal rend des urines.

14°. La consommation d'oxygène par les marmottes engourdies est très-faible ; elle ne s'élève souvent qu'à $\frac{1}{30}$ de celle qu'exigent les marmottes éveillées ; et il est possible que cette consommation soit beaucoup plus petite, lorsque ces animaux sont exposés à une température beaucoup plus basse qu'ils ne l'ont été dans nos expériences.

15°. Au moment où les marmottes sortent de léthargie, leur respiration devient extrêmement active, et, pendant la période de leur réveil, elles consomment beaucoup plus d'oxygène que lorsqu'elles sont complétement éveillées. Leur température s'élève rapidement, et leurs membres sortent, successivement, de leur engourdissement.

16°. Les marmottes engourdies peuvent séjourner longtemps, sans en éprouver d'effets fâcheux, dans un air pauvre en oxygène qui asphyxie, en quelques instants, une marmotte éveillée. Ces animaux ne paraissent pas pouvoir passer, par leur seule volonté, de l'état de réveil à l'état de torpeur.

Digitized by Google

III. — Animaux à sang froid.

17°. La respiration des reptiles consomme, à poids égal, beaucoup moins d'oxygène que celle des animaux à sang chaud; mais elle ne diffère pas sensiblement de cette dernière sous le rapport de la nature et des proportions des gaz absorbés et dégagés. Nos expériences ont donné, tantôt une petite absorption d'azote, tantôt un faible dégagement de ce gaz; mais on ne peut pas en répondre, parce que les déterminations numériques ne peuvent plus se faire avec la même précision que pour les animaux à sang chaud, à cause de la faiblesse de la respiration des reptiles.

18°. Les grenouilles auxquelles on a enlevé les poumons continuent à respirer, à peu près avec la même activité que lorsqu'elles étaient intactes; elles vivent souvent pendant plusieurs jours, et les proportions des gaz absorbés et dégagés diffèrent peu de celles que l'on remarque sur les grenouilles intactes. Ce fait semble démontrer que la respiration des grenouilles a lieu principalement par la peau. Il serait cependant nécessaire de démontrer ce fait par des expériences directes.

19°. La respiration des vers de terre est à peu près semblable à celle des grenouilles, pour la quantité d'oxygène consommé à poids égal, et pour le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé.

20°. La respiration des insectes, tels que les hannetons et les vers à soie, est beaucoup plus active que celle des reptiles; elle consomme, à poids égal, à peu près autant d'oxygène que les mammifères sur lesquels nous avons expérimenté. Cette grande consommation d'oxygène est en rapport avec la grande quantité de nourriture que prennent ces animaux; et si leur température ne s'élève pas davantage au-dessus de celle du milieu ambiant, cela tient à ce qu'ils ont très-peu de masse, et présentent, en général, une

Digitized by Google

très-grande surface et une peau humide à l'action de l'air. Il est d'ailleurs important de remarquer que nous comparons ici la respiration des insectes à celle des mammifères, qui ont des masses deux mille à dix mille fois plus considérables, et que nous avons reconnu (page 473) que la respiration des très-petits animaux est incomparablement plus active que celle des animaux très-gros de la même classe.

Un thermomètre, maintenu au milieu d'un grand nombre de hannetons renfermés dans un sac à claire-voie, a montré une température supérieure de 2 degrés à celle de l'air ambiant.

IV. — Animaux des diverses classes.

21°. La respiration des animaux des diverses classes dans une atmosphère renfermant deux ou trois fois plus d'oxygène que l'air normal, ne présente aucune différence avec celle qui s'exécute dans notre atmosphère terrestre. La consommation d'oxygène est la même; le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé ne subit pas de changement sensible; la proportion de gaz azote exhalé est la même; enfin les animaux ne paraissent pas s'apercevoir qu'ils se trouvent dans une atmosphère différente de leur atmosphère ordinaire.

22°. La respiration des animaux, dans une atmosphère où l'hydrogène remplace en grande partie l'azote de notre atmosphère terrestre, diffère aussi très-peu de celle qui a lieu dans l'air normal. On remarque seulement une plus grande consommation d'oxygène, ce que nous avons attribué à une plus grande activité que prend la respiration afin de compenser le plus grand refroidissement que l'animal éprouve au contact du gaz hydrogène.

Nous sommes loin de prétendre que notre travail présente une étude complète du phénomène de la respiration;

Digitized by Google

nous nous estimerons heureux si nous avons réussi à en établir les principaux faits, et si nos méthodes peuvent être de quelque utilité aux physiologistes qui, par leurs connaissances spéciales, seront plus aptes que nous à étendre ces recherches.

Nous avons cherché à mettre les animaux, autant que possible, dans les conditions de leur vie habituelle : nous pensons y avoir réussi. Cependant on nous objectera, peut-être, que, pour maintenir l'air de notre cloche dans les conditions normales, il ne suffit pas d'absorber l'acide carbonique produit et de remplacer l'oxygène consommé; qu'il faut encore absorber les miasmes qui se dégagent du corps de l'animal, et que l'on regarde généralement comme pouvant exercer une influence très-nuisible sur sa santé, bien que leur quantité soit ordinairement trop petite pour pouvoir être reconnue par l'analyse chimique. Sans nier l'existence de ces miasmes, nous pensons qu'on en exagère beaucoup les effets. Ainsi, pendant l'hiver, les moutons restent enfermés dans des bergeries que, dans beaucoup de pays, on maintient aussi closes que possible. Lorsqu'on y entre le matin, l'atmosphère est tellement puante, que l'homme qui n'en a pas l'habitude ne peut y séjourner quelques minutes sans se trouver incommodé; et, cependant, les animaux ne paraissent pas en éprouver d'effets fâcheux. Au reste, nous pouvons certifier que, dans aucune des expériences où l'animal était soumis à un régime convenable, nous n'avons pu reconnaître chez lui des signes de malaise, même après un séjour de plusieurs jours; il prenait sa nourriture avec le même appétit que lorsqu'il se trouvait à l'air libre, et, au sortir de l'appareil, il reprenait immédiatement ses habitudes ordinaires. Le même animal a souvent subi un grand nombre d'expériences, et sa santé n'en a jamais paru altérée; quelques-uns des animaux sur lesquels nous avons opéré, vivaient encore plusieurs années après.

Digitized by Google

On remarquera dans notre travail deux lacunes regrettables : il y manque des expériences sur la respiration des poissons, et des expériences sur la respiration de l'homme. Nous n'avons pas entrepris d'expériences sur les poissons, parce que nous savions que M. Valenciennes s'occupait de cette étude; quant à la respiration de l'homme, notre intention était de nous en occuper d'une manière toute spéciale. Nous nous proposions de l'étudier, non-seulement sur l'homme sain, soumis à divers régimes d'alimentation, à l'état de repos ou à l'état de travail, mais encore sur des sujets affectés de diverses maladies, et nous espérions pouvoir nous associer, pour cette importante étude, l'un des habiles médecins des grands hôpitaux de Paris. Malheureusement, le nouvel appareil qui devait servir pour ces recherches, à cause des conditions spéciales auxquelles il devait satisfaire, exigeait des sommes beaucoup plus considérables que celles dont nous pouvions disposer, et nous fûmes obligés de renoncer à notre projet.

L'étude de la respiration de l'homme, dans ses divers états pathologiques, nous paraît un des sujets les plus dignes d'occuper les hommes qui se vouent à l'art de guérir; elle peut donner un diagnostic précieux pour un grand nombre de maladies, et rendre plus évidentes les révolutions qui surviennent dans l'économie. Les beaux résultats obtenus dans ces dernières années par l'inhalation de l'éther et du chloroforme, en montrant la rapidité avec laquelle l'absorption se fait par la voie aérienne, font pressentir qu'on parviendra à administrer, avec succès, des médicaments gazeux, dont l'action à petite dose, mais longtemps prolongée, peut être efficace dans le traitement de beaucoup de maladies qui ont résisté aux médications ordinaires. Nos vœux seraient accomplis, si notre travail provoquait ces études qui peuvent être d'une si haute importance pour l'humanité.

Digitized by Google

NOTE SUR LES AIMANTS;

PAR M. A. CORNILL WOESTYN,
Élève de l'École Normale.

Les expériences dans le détail desquelles je vais entrer me paraissent mettre entièrement hors de doute le fait suivant :

« Si l'on approche d'un des pôles d'un aimant le pôle semblable d'un autre aimant suffisamment puissant, il se produit dans l'extrémité la plus influencée du premier un renversement de magnétisme qui disparaît lorsqu'on éloigne le second. »

Je dirai ici, pour éviter des répétitions, qu'immédiatement après chaque opération je déterminais l'état magnétique de mon aimant à l'aide d'une petite aiguille horizontale que je faisais mouvoir le long du barreau tenu verticalement. Je contrôlais les résultats obtenus par ce procédé au moyen des figures fournies par la projection de la limaille de fer.

Une première expérience a été faite avec un fort barreau aimanté et un électro-aimant dans lequel le courant était produit par des éléments de Bunsen ; comme je pouvais faire varier en quelque sorte progressivement la force de ce dernier en changeant le nombre des éléments, j'ai suivi avec facilité les différentes phases du phénomène.

1°. Je me suis d'abord servi de deux éléments.

En approchant d'un des pôles de l'électro-aimant le pôle de même nom de l'aimant auquel je laissais une certaine mobilité, j'ai constaté une attraction. Elle augmentait tellement quand la distance diminuait, qu'il me fallait développer un effort assez considérable pour faire cesser le contact.

J'ai vérifié, par les deux moyens indiqués plus haut, que le magnétisme était demeuré le même quant au sens dans l'aimant; mais cependant le pôle sur lequel j'avais expérimenté avait diminué d'intensité.

Digitized by Google

2°. J'ai fait usage de quatre éléments.

Je me suis placé dans les mêmes conditions que dans le cas précédent; j'ai alors observé une attraction plus forte; le barreau après l'expérience avait un point conséquent vers le milieu de sa longueur.

3°. J'ai employé six éléments.

L'attraction était plus considérable encore; le magnétisme du barreau était renversé en entier d'une manière permanente.

La durée du contact augmentait l'intensité des phénomènes observés. Cette remarque s'applique également à ce qui va suivre.

L'expérience que je vais rapporter maintenant a été faite sur un petit barreau fortement trempé et aimanté à saturation. Il était maintenu dans une chape en papier et pouvait se mouvoir dans un plan horizontal. Cet aimant était, quant aux dimensions, identique à celui dont s'était servi Coulomb pour trouver la loi de la variation de l'intensité du magnétisme avec la distance. Après avoir limité le champ du mouvement de ce barreau, j'approchai d'un de ses pôles le pôle semblable d'un barreau plus puissant. Je constatai alors une attraction à la distance de 3 centimètres environ. Le sens du magnétisme n'avait pas été altéré dans l'aimant mobile.

J'ai vérifié le même fait avec différentes aiguilles, je pouvais même les faire osciller devant l'aimant à une distance assez considérable. J'ai observé qu'alors la pointe oscillait devant le bord du barreau le plus fortement aimanté. (Cet excès de magnétisme de l'un des côtés se constatait par l'excès de la limaille qui s'y attachait.) Cette remarque n'est pas dénuée d'importance ici; sans elle, en effet, on pourrait tenter d'expliquer ces oscillations en admettant une répulsion des quatre côtés : l'équilibre, il est vrai, serait stable. Mais cette hypothèse tombe d'elle-même quand on porte son attention sur la grandeur que l'on peut donner aux amplitudes des oscillations; elle serait

Digitized by Google

d'ailleurs incompatible avec l'attraction qui se manifeste au contact.

Je passe à une expérience, importante à mon avis, en ce qu'elle montre bien l'altération du magnétisme dans un aimant quand un de ses pôles est attiré par le pôle semblable d'un autre aimant. Ayant placé une feuille de papier sur un barreau influencé de la manière indiquée, je projetai de la limaille, et je vis apparaître un point conséquent au tiers de la longueur à peu près. Une nouvelle projection de limaille, après l'éloignement de l'aimant, me fit voir que le point conséquent avait disparu.

J'ajouterai que j'ai obtenu des résultats analogues avec d'autres aimants dont j'ai fait varier la trempe et le degré de magnétisme.

Je crois devoir signaler une circonstance qui se présente quand l'aiguille est très-effilée et que le barreau est puissant. Il arrive souvent alors qu'à une très-petite distance de l'extrémité, il se développe un point conséquent permanent. Pour bien mettre en évidence que ce n'est point à cette faible intervention partielle du magnétisme qu'est due l'attraction dans ce cas, il suffit de remplacer le pôle dont on s'est servi par celui d'un barreau plus faible. Si l'on opère alors à la même distance ou à une distance notablement plus petite, on voit toujours l'attraction primitive se changer en une répulsion. Les figures obtenues avec la limaille pendant et après l'influence, viennent apporter ici une nouvelle confirmation; on trouve, en effet, dans le premier cas, un point conséquent au tiers de la longueur environ, et dans le second, un point conséquent très-faible placé vers la pointe.

Pour l'intelligence de ces faits, il faut, il me semble, envisager la constitution d'un aimant d'une manière nouvelle.

En même temps que dans un pareil corps il y aurait des particules où les courants électriques seraient maintenus dans de certaines directions par des forces coercitives éner-

Digitized by Google

giques, il y en aurait d'autres dans lesquelles les forces coercitives seraient faibles ou nulles. Les courants du premier système dirigeraient ceux du second, de façon à établir un équilibre dans l'ensemble. Sous l'influence d'un aimant puissant, ces courants mobiles (comme ceux dont on admet l'existence dans le fer doux et l'acier peu trempé) seraient modifiés dans leurs directions, et cela d'autant plus sensiblement que l'aimant agirait à une distance plus faible. Il est clair également que cette action du pôle sur les différentes parties dépendrait de leur degré de rapprochement. Lorsque ensuite on viendrait à écarter la cause perturbatrice de l'équilibre primitif, il tendrait à s'en former un nouveau s'éloignant plus ou moins du premier, suivant l'intensité du trouble apporté par l'aimant dans le système des premiers courants.

On doit comprendre maintenant pourquoi j'ai préféré disposer ce magnétisme passager en sens inverse de celui qui réside d'une manière permanente dans les aimants. J'ai pu, en agissant de la sorte, constater un renversement d'action, phénomène bien plus saillant que l'augmentation d'action que j'aurais obtenue en agissant d'une façon opposée. Cette augmentation d'intensité avait, du reste, été admise pour l'explication d'un grand nombre de phénomènes; mais on la croyait permanente en totalité, tandis qu'elle n'est que passagère.

Dans cette manière de voir, on s'explique facilement les faits cités plus haut. On n'éprouvera pas plus de difficulté à comprendre certaines anomalies qui s'observent dans les actions des courants sur les aimants. Si, par exemple, on refait l'expérience de M. Boisgireau avec un courant assez intense, on constate pour toutes les positions une attraction, en ayant soin toutefois que la distance du courant à l'aiguille ne soit pas trop considérable. Le courant, au contraire, est-il affaibli, les phénomènes se passent comme l'indique la théorie; c'est là une preuve que le magnétisme est demeuré le même quant au sens dans l'aiguille. On

Digitized by Google

peut, du reste, vérifier directement cette dernière assertion.

L'étude de l'action des courants sur les aimants présente beaucoup d'autres faits du même genre, qui s'expliquent également en admettant pour les aimants la constitution que nous avons indiquée.

La terre agissant à la manière des aimants, on doit s'attendre à lui voir produire des phénomènes analogues; c'est ce qui résulte d'une expérience qui m'a été indiquée récemment. M. Barlow a constaté qu'un barreau d'acier non aimanté et placé dans la direction de l'aiguille de déclinaison prend des pôles qui changent quand on renverse le barreau. Ce fait, cité par ce célèbre physicien comme une anomalie, n'offre plus rien qui surprenne, si l'on admet dans l'acier un réseau de particules dénuées de force coercitive.

Du reste, ce que l'on sait de la constitution des aimants vient à l'appui de notre manière de voir. La trempe, en effet, se fait sentir plus vivement sur les parties extérieures; en outre, l'acier, par sa carburation, étant en quelque sorte intermédiaire entre la fonte et le fer doux, il arrive, à cause de l'imperfection même des procédés de fabrication, que dans un barreau, une portion plus ou moins notable du fer carburé se rapproche par sa composition des états extrêmes dont nous avons parlé.

Si les considérations précédentes étaient exactes, le système de courants qui constitue le magnétisme d'un aimant serait essentiellement variable avec la force et la distance du pôle qui l'influencerait. Cette variabilité serait un nouvel élément dont il faudrait, dans certains cas, tenir compte.

En outre, par notre hypothèse, on aurait une explication plus complète de l'influence des armatures, de ce fait observé par M. Kupfer, que dans notre hémisphère le pôle austral d'un barreau était plus puissant quand il était dirigé vers le bas, et de différents autres phénomènes se rapportant au magnétisme.

Digitized by Google

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — JUIN 1849.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim.	ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	759,43	+24,0		759,48	+26,3		758,98	+30,1		759,45	+23,5		+32,0	+15,8	Beau.....	S.
2	758,84	+24,5		758,75	+27,2		757,98	+28,4		758,64	+23,2		+29,3	+16,0	Beau	S. S. O.
3	760,54	+23,8		760,64	+26,6		759,91	+27,0		760,17	+23,2		+28,2	+17,8	Beau, quelq. nuages..	S. O.
4	758,59	+26,3		757,80	+28,7		756,50	+29,7		755,17	+24,9		+30,6	+18,5	Beau, quelq. nuages..	E.
5	754,38	+29,0		754,29	+29,3		753,91	+29,9		754,65	+23,1		+30,3	+16,0	Beau, quelq. nuages..	S.
6	757,65	+22,8		757,59	+25,4		756,78	+27,7		757,70	+20,9		+28,0	+18,2	Beau, quelq. nuages..	S. S. O.
7	757,95	+18,8		757,38	+23,3		756,16	+27,2		755,45	+23,3		+28,0	+17,4	Ciel voilé.....	N. N. O.
8	753,53	+25,0		752,57	+37,3		751,24	+26,1		751,57	+17,6		+28,4	+16,5	Ciel vaporeux	N. N. O.
9	752,00	+13,0		751,73	+15,6		751,30	+16,0		751,10	+14,4		+16,5	+11,6	Couvert; éclaircies...	O.
10	749,34	+15,8		748,70	+18,4		748,12	+16,7		748,00	+13,7		+18,8	+ 8,6	Couvert.....	O.
11	748,50	+10,0		749,44	+ 9,8		749,36	+12,3		752,10	+10,8		+12,5	+ 9,6	Couvert, pluie.....	N. N. O.
12	755,50	+13,2		755,63	+15,4		755,21	+16,4		756,07	+13,2		+17,5	+ 8,1	Nuageux.....	N.
13	756,53	+15,4		756,65	+17,0		756,35	+17,7		758,31	+13,8		+18,7	+ 8,2	Très-nuageux.....	N. N. E.
14	759,48	+15,9		758,53	+18,3		758,90	+20,0		756,60	+16,5		+20,2	+ 8,6	Nuageux.....	E. N. E.
15	752,65	+20,0		752,42	+21,6		751,42	+22,5		752,07	+16,6		+23,3	+12,5	Couvert.....	E.
16	749,07	+16,6		749,52	+16,0		749,68	+18,2		751,26	+14,3		+18,5	+13,2	Couv., pl. continuelle.	O. N. O.
17	754,39	+14,8		756,80	+16,2		756,40	+17,4		759,05	+14,2		+17,5	+12,8	Très-nuageux.....	O.
18	760,40	+18,7		759,92	+19,6		759,27	+21,6		758,94	+15,5		+21,9	+ 9,6	Nuageux....	S. S. E.
19	756,80	+22,4		756,29	+22,4		756,00	+22,8		757,42	+16,3		+28,3	+11,4	Nuageux.....	S. O.
20	761,25	+19,0		761,91	+20,9		761,75	+21,5		762,21	+17,8		+22,1	+14,6	Couvert..... ..	O.
21	761,74	+19,8		761,67	+20,0		761,03	+19,9		761,36	+15,5		+20,8	+13,2	Très-nuageux.....	O. N. O.
22	761,58	+14,5		761,01	+19,6		759,75	+22,5		758,54	+17,9		+23,0	+12,1	Nuageux.....	N. O.
23	756,24	+22,9		755,12	+23,0		754,13	+24,6		752,73	+22,0		+25,1	+12,1	Beau.....	E.
24	751,26	+18,7		752,09	+24,5		752,01	+26,0		754,02	+21,3		+26,5	+16,7	Très-nuageux.....	S. E.
25	756,09	+21,8		755,79	+24,8		754,71	+25,0		755,63	+19,0		+27,3	+12,9	Beau.....	E.
26	757,61	+16,0		758,05	+21,6		757,97	+21,7		759,06	+17,0		+22,4	+14,3	Nuageux.....	O.
27	758,95	+18,0		758,60	+23,8		757,97	+23,0		757,45	+18,3		+24,1	+12,5	Nuageux..... .	O.
28	757,59	+18,6		757,74	+20,2		757,34	+22,2		759,00	+16,4		+22,5	+14,5	Très-nuageux.....	O. N. O.
29	760,06	+19,4		759,21	+20,4		758,03	+21,2		756,28	+17,4		+23,0	+12,4	Couvert, éclaircies...	S. E.
30	752,19	+19,6		752,05	+18,2		752,72	+18,8		757,27	+14,0		+21,4	+16,2	Couvert, pluie.....	N.
1	756,22	+22,3		755,89	+24,8		755,09	+25,9		755,19	+20,8		+27,0	+15,6	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	755,46	+16,6		755,71	+17,7		755,43	+19,0		756,40	+14,9		+19,5	+10,9	... Moy. du 11 au 20	Cour. 8,707
3	757,33	+18,9		757,12	+21,6		756,57	+22,5		757,13	+17,9		+23,6	+13,7	... Moy. du 21 au 30	Terr. 8,263
	756,34	+19,3		756,24	+21,4		755,70	+22,5		756,24	+17,9		+23,4	+13,4	... Moyenne du mois.....	+ 18°,4

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES,

Tome XXVI. (3me Série.)

Pages.

De la proportion d'eau et de ligneux contenue dans le blé et dans ses principaux produits; par M. E. Millon..... 5

Acoustique. — Travaux de Scheibler. — Théorie des battements. — Application à l'accord de l'orgue et des autres instruments; par M. A.-J.-H. Vincent..... 37

Mémoire sur le café; par M. Payen..... 108

Note additionnelle au Mémoire sur les combinaisons de l'acide sulfurique avec l'eau; par M. A. Bineau..... 123

Siphon à écoulement intermittent, destiné au lavage des précipités; par M. N. Bloch..... 126

Observations météorologiques du mois de mars 1849..... 128

Recherches sur les causes du goître et du crétinisme; par M. J. Grange..... 129

Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche; par MM. Fizeau et L. Foucault..... 138

Sur le pouvoir magnétique des minéraux; par M. Delesse. 148

Nouvelles recherches sur les mouvements vibratoires qu'éprouvent les corps magnétiques et les corps non magné-

Digitized by Google

Pages.

tiques sous l'influence des courants électriques extérieurs et transmis; par M. Aug. de La Rive..... 158

Analyse des substances saccharifères au moyen des propriétés optiques de leurs dissolutions et évaluation de leur rendement industriel; par M. T. Clerget..... 175

Sur la quantité d'ammoniaque contenue dans l'air atmosphérique; par M. R. Fresenius..... 208

Mémoire sur l'emploi de l'iodure de potassium pour combattre les affections saturnines et mercurielles; par M. Melsens..... 215

Observations météorologiques du mois d'avril 1849..... 256

Note sur les températures d'ébullition de l'acide carbonique et du protoxyde d'azote sous la pression ordinaire de l'atmosphère, et sur les coefficients de dilatation, dans les basses températures, de l'air atmosphérique sous différentes pressions et de l'hydrogène; par M. V. Regnault. 257

Note sur la chaleur spécifique du potassium; par M. V. Regnault..... 261

Note sur la chaleur spécifique et la chaleur latente de fusion du brome et sur la chaleur spécifique du mercure solide; par M. V. Regnault..... 268

Observations udométriques recueillies sur divers points de la Nouvelle-Grenade; par M. F. Acosta..... 279

Nouveau procédé pour reconnaître l'iode et le brome; par M. Alvaro Reynoso..... 285

Note sur la mesure des indices de réfraction des lames transparentes et des liquides à l'aide du microscope ordinaire; par M. A. Bertin..... 288

Note sur la préparation de l'azote; par M. B. Corenwinder. 296

Observations météorologiques du mois de mai 1849..... 298

Digitized by Google

Pages.

Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes; par MM. V. Regnault et J. Reiset..... 299
Note sur les aimants; par M. A. Cornill Woestyn..... 520
Observations météorologiques du mois de juin 1849..... 525
Table des matières du tome XXVI..... 526

PLANCHES.

Pl. I. — Théorie des battements. — Siphon à écoulement intermittent.
Pl. II. — Analyse des substances saccharifères au moyen des propriétés optiques de leurs dissolutions et évaluation de leur rendement industriel.
Pl. III et IV. — Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes.

ERRATA.

Page 41, ligne 1, *au lieu de* publié *lisez* oublié.
Page 45, ligne 3, au dénom. $k(1 \pm$ *lisez* $k(1 \mp$
Page 51, ligne 5, *au lieu de* $\alpha \pm$ *lisez* $\pm \alpha$.
Page 89, ligne 5, *au lieu de* ut_1 *lisez* ut^1.
Page 175, ligne 2, *au lieu de* et l'évaluation *lisez* et évaluation.

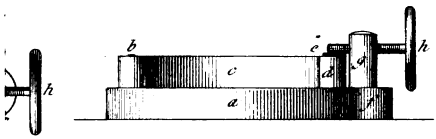
FIN DE LA TABLE DU TOME VINGT-SIXIÈME.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
Rue du Jardinet, n° 12.

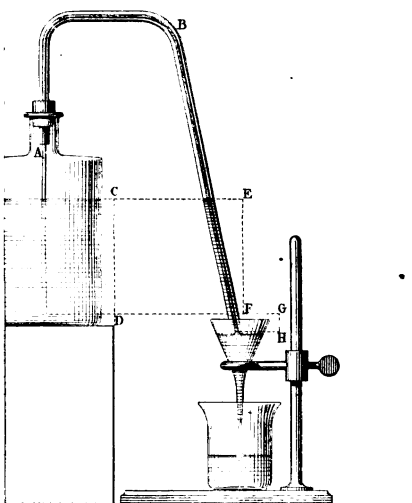
Digitized by Google

L. L. H. Vincent.

Fig. 4.



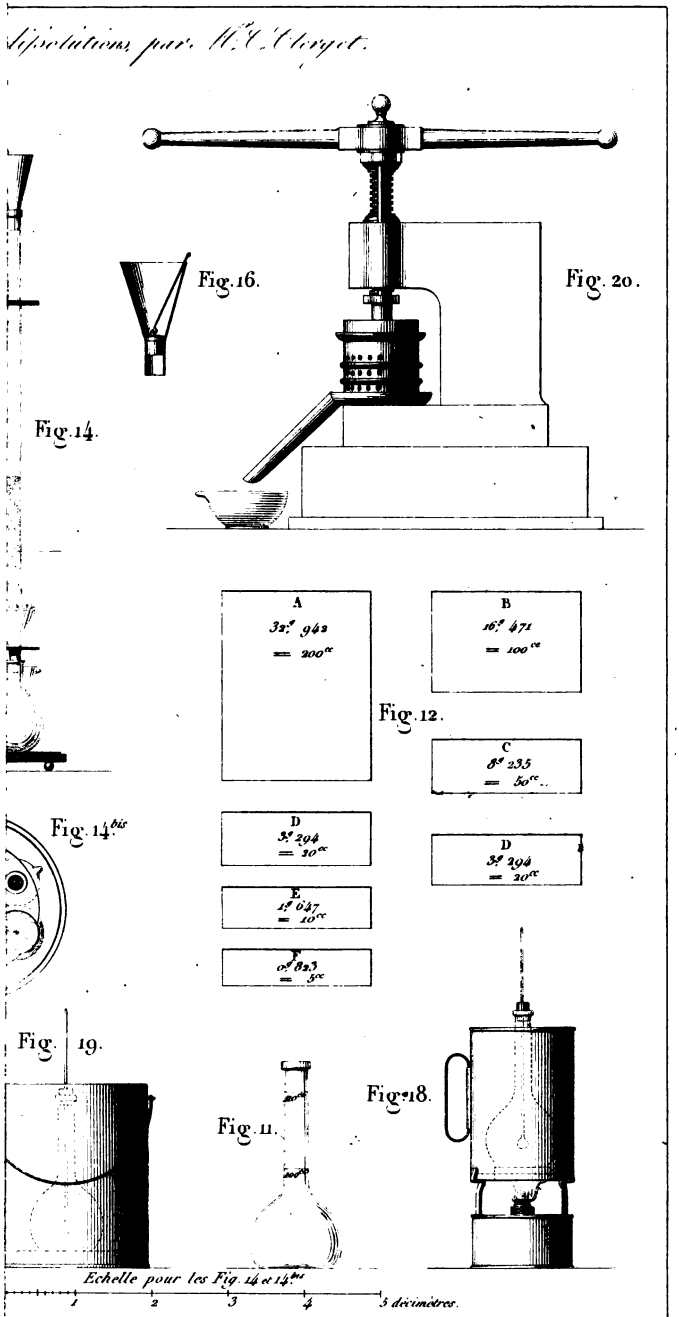
à écoulement intermittent;
par M. V. Bloch.



Gravé par E. Wormser.

Digitized by Google

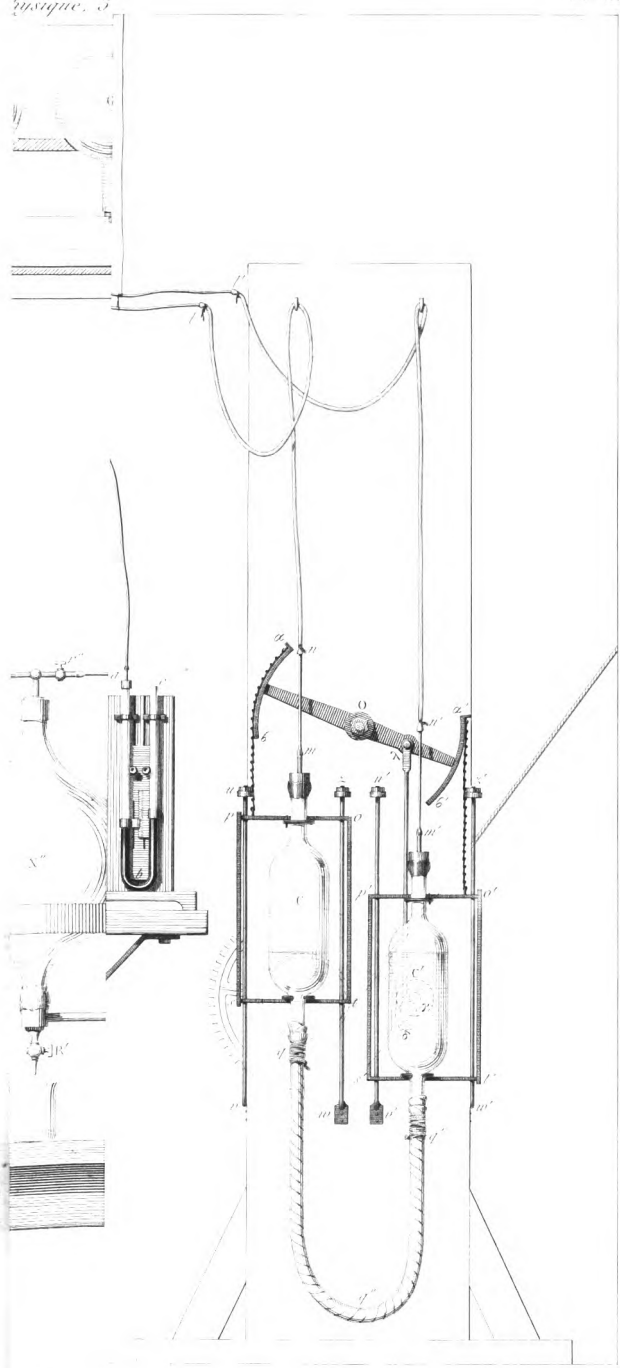
Digitized by Google



Gravé par E. Wormser.

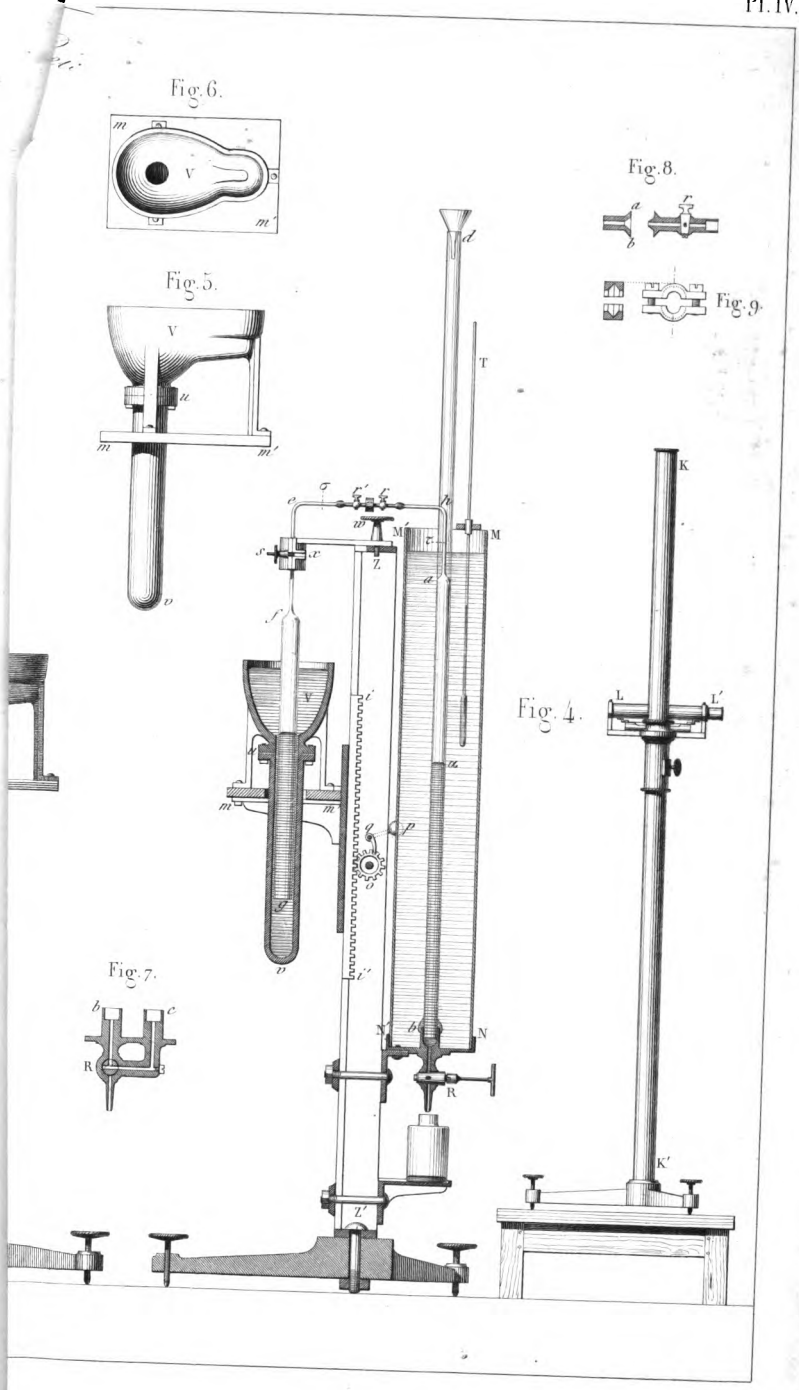
Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

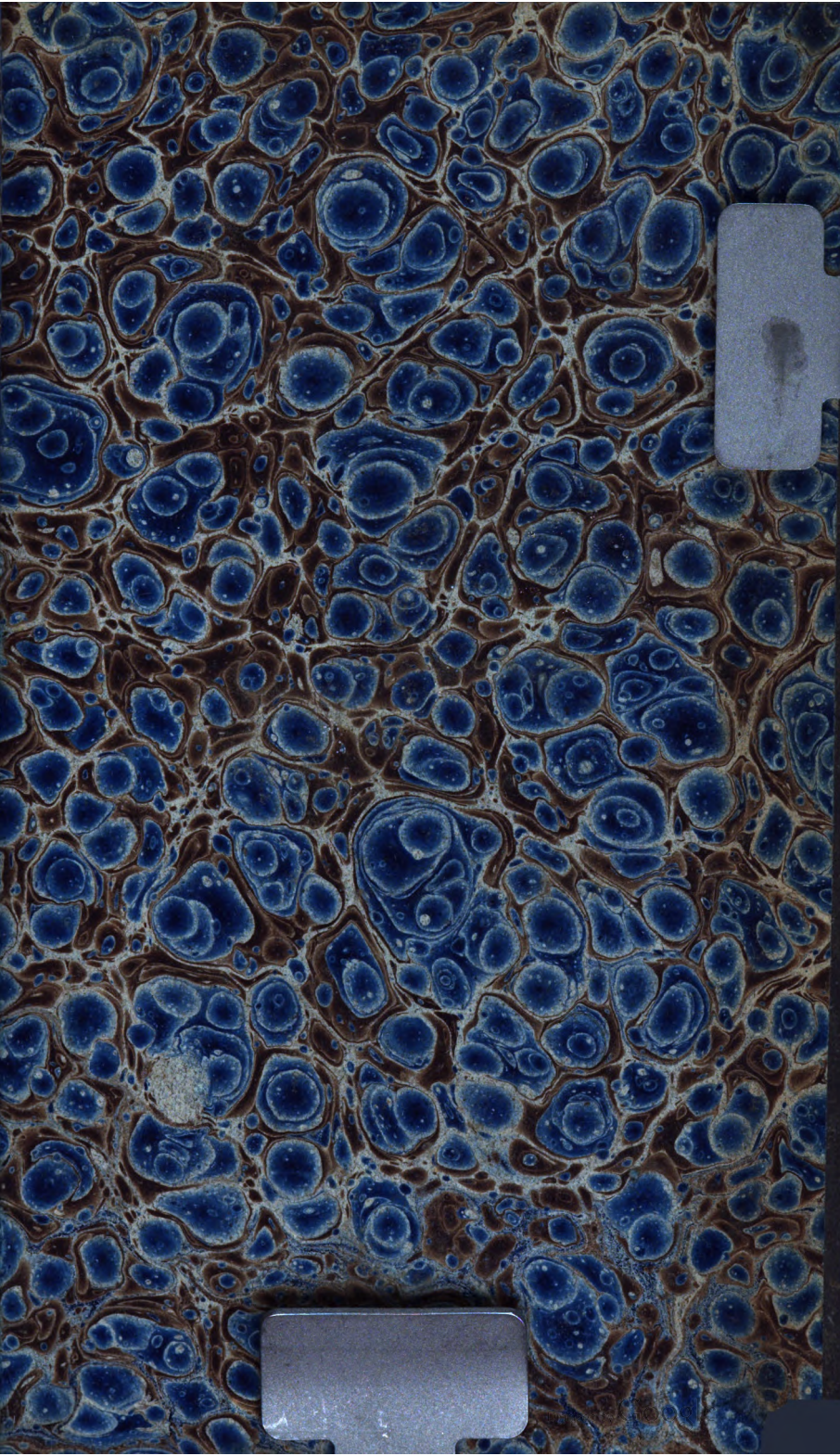
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google